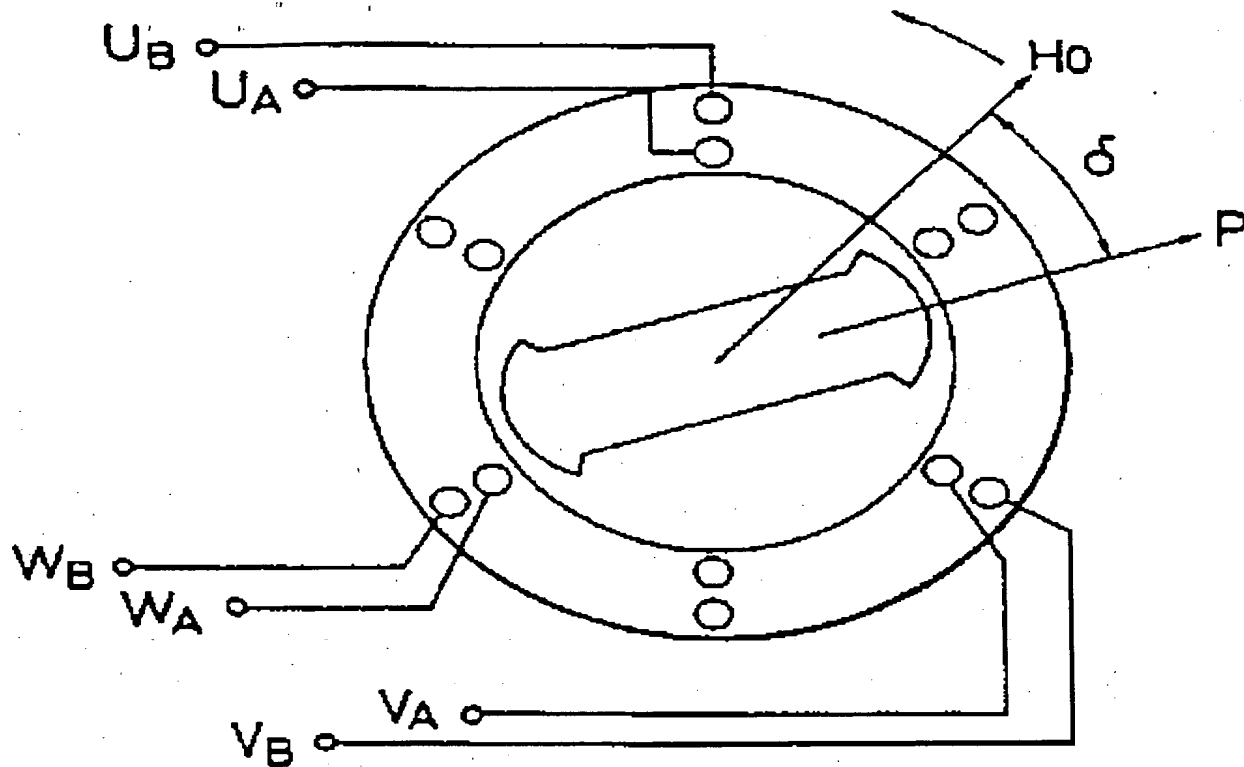


AN: PAT 1993-370038
TI: Synchronous electric motor for machine tool has two stator windings with respective energising controls determining motor frequency and output torque
PN: DE4315939-A1
PD: 18.11.1993
AB: The motor has a stator wound with two windings in a double layer configuration, the rotor rotating within the stator and having permanent magnet rotor poles. The stator windings are coupled to respective controls determining the rotation frequency of the motor and the output power or torque. Pref. the second control maintains a phase angle of 90 degrees between the current for the least stator winding and the current for the second stator winding, with controlled amplification of the current fed to the first winding.; For controlling main spindle of machine tool, e.g. milling machine. Can control either speed and torque or speed and output power simultaneously to predetermined value. Requires neither permanent magnet nor coil.
PA: (NAIT/) NAITO K; (SEKI/) SEKIYAMA A; (SEKI/) SEKIYAMA T;
IN: NAITO K; SEKIYAMA T;
FA: DE4315939-A1 18.11.1993; TW299522-A 01.03.1997;
GB2268343-A 05.01.1994; FR2691304-A1 19.11.1993;
NL9300832-A 01.12.1993; JP05316783-A 26.11.1993;
SE9301608-A 14.11.1993; CA2095669-A 14.11.1993;
JP07015900-A 17.01.1995; IT1264430-B 23.09.1996;
CO: CA; DE; FR; GB; IT; JP; NL; SE; TW;
IC: H02K-003/00; H02K-003/18; H02K-003/28; H02K-019/00;
H02K-019/02; H02K-019/06; H02K-019/08; H02K-019/24;
H02K-021/00; H02K-021/14; H02K-041/03; H02P-000/00;
H02P-005/00; H02P-005/41; H02P-006/00; H02P-007/00;
H02P-007/36; H02P-007/62; H02P-007/63; H02P-009/00;
H02P-009/14;
MC: T06-D06; V06-N03; X25-A03C; X25-A03F;
DC: T06; V06; X25;
FN: 1993370038.gif
PR: JP0120615 13.05.1992; JP0238687 07.09.1992;
FP: 14.11.1993
UP: 01.03.1997

AC 192, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)



101401 2016.12.10.15.10.17

THIS PAGE BLANK (USPTO)

02P20146

85



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 43 15 939 A 1**

⑤ Int. Cl. ⁵:
H 02 P 7/36
H 02 K 19/00
// H02K 21/00,41/03

⑳ Aktenzeichen: P 43 15 939.7
㉔ Anmeldetag: 12. 5. 93
㉕ Offenlegungstag: 18. 11. 93

DE 43 15 939 A 1

③ Unionspriorität: ③② ③③ ③①
13.05.92 JP P 4-120615 07.09.92 JP P 4-238687

⑦① Anmelder:
Naito, Kinshiro, Isehara, Kanagawa, JP; Sekiyama,
Tokuzou, Gunma, JP

⑦④ Vertreter:
Grünecker, A., Dipl.-Ing.; Kinkeldey, H., Dipl.-Ing.
Dr.-Ing.; Stockmair, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Ae.E. Cal
Tech; Schumann, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Jakob,
P., Dipl.-Ing.; Bezold, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Meister, W., Dipl.-Ing.; Hilgers, H., Dipl.-Ing.;
Meyer-Plath, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Ehnold, A.,
Dipl.-Ing.; Schuster, T., Dipl.-Phys.; Goldbach, K.,
Dipl.-Ing.Dr.-Ing.; Aufenanger, M., Dipl.-Ing.;
Klitzsch, G., Dipl.-Ing.; Vogelsang-Wenke, H.,
Dipl.-Chem. Dipl.-Biol.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte,
80538 München

⑦② Erfinder:
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Synchronmaschine

⑤⑦ Eine Synchronmaschine weist einen Stator auf, der in doppelagiger Wicklungsweise mit einer ersten Wicklung und einer zweiten Wicklung bewickelt ist, einen Rotor mit einer Schenkelpolform, der drehbar in dem Stator aufgenommen ist, eine erste Steuerung zum Steuern der Drehfrequenz des Motors als Energiequelle für die erste Wicklung, und eine zweite Steuerung zum Steuern der Ausgangsleistung oder des Drehmomentwertes des Motors als Energiequelle für die zweite Wicklung.

DE 43 15 939 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Synchronmaschine und insbesondere einen Drehsynchronmotor oder Linearsynchronmotor, und einen Synchrongenerator. Weiterhin betrifft die Erfindung den Hauptspindelmotor von Werkzeugmaschinen und dergleichen und darüber hinaus einen Synchronmotor, dessen Drehfrequenz und Ausgangsleistung oder Ausgangsdrehmoment gleichzeitig gesteuert werden.

Konventionellerweise weist ein Synchronmotor in Werkzeugmaschinen und dergleichen einen Rotor und einen Anker auf. Der Rotor ist entweder mit Permanentmagneten oder mit Spulen versehen, die Gleichstrom-erregt werden. Der Anker weist eine einlagige Spule mit zwei, vier oder mehr Polen auf. Ein Zweiphasen- oder Dreiphasen-Wechselstrom wird zur Erzeugung eines magnetischen Drehfeldes verwendet.

Allerdings muß bei einem Synchronmotor für die Hauptspindel von Werkzeugmaschinen nicht nur die Drehfrequenz, sondern gleichzeitig auch seine Ausgangsleistung gesteuert werden.

Beispielsweise ist bei einer Bodenfräsmaschine, die zur Herstellung flacher Oberflächen verwendet wird, der Fingerfräser üblicherweise direkt mit einem Hauptspindelmotor verbunden. Bei Schneidvorgängen zur Herstellung fein bearbeiteter Oberflächen sind eine konstante Umfangsgeschwindigkeit und Schneidkraft erforderlich. Diese werden durch das Material und die Art des Fingerfräasers bestimmt, das Material des Werkstücks und dergleichen. Daher sollte vorzugsweise die Ausgangsleistung des Hauptspindelmotors dadurch konstant gehalten werden, daß entweder eine niedrige Geschwindigkeit und ein hohes Drehmoment erzeugt werden, wie im Falle eines Fingerfräasers mit großem Durchmesser, der in Fig. 2A gezeigt ist, oder jedoch eine hohe Geschwindigkeit und ein niedriges Drehmoment, wie bei dem in Fig. 2B gezeigten Fingerfräser mit geringem Durchmesser.

Ein Hauptspindelmotor, der zur Drehung einer Hauptspindel der Fräsmaschine verwendet wird, muß unabhängig von dem Bearbeitungsradius eine konstante Schneidkraft zur Verfügung stellen. Daher muß, wie in Fig. 3 gezeigt, das Schneidvolumen oder die Schneidkraft selbst dann konstant sein, wenn der Bearbeitungsradius proportional zum Fortschritt des Schneidvorganges abnimmt. Daher muß die Ausgangsleistung dadurch konstant gehalten werden, daß die Drehfrequenz des Motors erhöht wird.

Wie voranstehend erwähnt, muß der Motor zur Verwendung bei einer Hauptspindel von Werkzeugmaschinen ein Steuerverfahren zum Steuern der Drehfrequenz und des Drehmomentwertes oder der Drehfrequenz und der Ausgangsleistung aufweisen, so daß diese zum selben Zeitpunkt einen vorbestimmten Wert annehmen. Allerdings weist ein konventioneller Motor, der bei der Hauptspindel einer Werkzeugmaschine eingesetzt wird, eine einlagige Spule in einer einzigen Lage auf und es werden die Phase, die Frequenz, die Verstärkung usw. des darin fließenden Stromes gesteuert. Infolge von Komplikationen bei dem Steuerverfahren ist es daher schwierig, vorbestimmte Belastungseigenschaften zur Verfügung zu stellen.

Wie voranstehend erwähnt, besteht in der Hinsicht eine Schwierigkeit, daß der konventionelle Synchronmotor nur auf schwierige Weise die unterschiedlichen Anforderungen erfüllen kann, die bei einer Hauptspindel von Werkzeugmaschinen erforderlich sind, infolge der Komplikationen des Steuerverfahrens zum Steuern des Stromes, da nämlich die Spule eine einlagige Wicklung aufweist.

Weiterhin ist der Synchronmotor bei konventionellen Werkzeugmaschinen mit einem Anker (Stator) und einem Rotor versehen. Zur Erzeugung eines Magnetfeldpoles weist der Synchronmotor einen Rotor mit entweder einem Permanentmagneten oder einer Spule auf, die durch einen Gleichstrom erregt wird. Beliebige ist ein Synchronmotor mit zwei bis acht Polen.

Zusätzlich weist ein konventioneller Synchrongenerator ebenso einen Anker (Stator) sowie einen Rotor auf. Zur Erzeugung eines Magnetfeldpoles ist der Synchrongenerator mit einem Rotor mit entweder einem Permanentmagneten oder einer Spule versehen, die als ein Elektromagnet wirkt.

Allerdings wird die Struktur des Generators infolge eines Permanentmagneten des Rotors oder einer um den Rotor gewickelten Spule kompliziert und geschwächt. Daher tritt in der Hinsicht ein Problem auf, daß unterschiedliche Schwierigkeiten dadurch hervorgerufen werden, daß eine Verformung oder ein Versagen im Falle einer Drehung bei hoher Geschwindigkeit auftreten.

Ein weiteres Problem besteht dann, wenn der Synchrongenerator unterschiedliche Eigenschaften aufweisen soll, beispielsweise eine konstante Ausgangsleistungs-Charakteristik über einen breiten Drehzahlbereich, Dreheigenschaften mit einer geringen Drehmomentschwankung, sowie die Eigenschaft einer mangelnden thermischen Verformung bei übermäßiger Belastung des Rotors.

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht in der Bereitstellung einer Synchronmaschine, die für eine Hauptspindel von Werkzeugmaschinen geeignet ist und die entweder die Drehfrequenz und den Drehmomentwert oder die Drehfrequenz und die Ausgangsleistung gleichzeitig auf einen vorbestimmten Wert steuern kann.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt in der Bereitstellung einer Synchronmaschine, welche nicht die Verwendung eines Permanentmagneten oder einer Spule erfordert.

Zur Erzielung der voranstehend angegebenen Vorteile stellt gemäß einer ersten Zielrichtung die vorliegende Erfindung eine Synchronmotorvorrichtung mit folgenden Teilen zur Verfügung:

einem Stator, der mit einer ersten Wicklung und einer zweiten Wicklung in doppelagiger Wicklungsweise versehen ist;

einem Rotor, der eine Schenkelpolform aufweist und drehbar in dem Stator aufgenommen ist;

einer ersten Steuerung, die als Energiequelle für die erste Wicklung dient und die Drehfrequenz des Motors steuert; und einer zweiten Steuerung, die als Energiequelle dient und die Ausgangsleistung oder den Drehmomentwert des Motors steuert.

Weiterhin stellt die vorliegende Erfindung eine Synchronmotorvorrichtung mit folgenden Teilen zur Verfügung:

einem Stator, der mit einer ersten Wicklung und einer zweiten Wicklung in doppelagiger Wicklungsweise

versehen ist;
 einem Rotor, der im wesentlichen aus magnetisch anisotropen Materialien besteht, um eine Schenkelanordnung zur Verfügung zu stellen und der drehbar in dem Stator aufgenommen ist;
 einer ersten Steuerung, die als Energiequelle für die erste Wicklung dient und die Drehfrequenz des Motors steuert; und
 einer zweiten Steuerung, die als Energiequelle für die zweite Wicklung dient und die Ausgangsleistung oder den Drehmomentwert des Motors steuert.

Weiterhin stellt die vorliegende Erfindung eine Synchronmotorvorrichtung mit folgenden Teilen zur Verfügung:

einem Stator, der mit einer ersten Wicklung und einer zweiten Wicklung in doppelagiger Wicklungsweise versehen ist;

einem Rotor, der mit einem Permanentmagnetteil versehen ist, um einen Magnetfeldfluß zu erzeugen und der drehbar in dem Stator aufgenommen ist;

einer ersten Steuerung, die als Energiequelle für die erste Wicklung dient und die Drehfrequenz des Motors steuert; und

einer zweiten Steuerung, die als Energiequelle für die zweite Wicklung dient und die Ausgangsleistung oder den Drehmomentwert des Motors steuert.

Weiterhin stellt die vorliegende Erfindung eine Synchronmotorvorrichtung mit folgenden Teilen zur Verfügung:

einem Stator, der mit einer ersten Wicklung und einer zweiten Wicklung in doppelagiger Wicklungsweise versehen ist;

einem Rotor, der mit zumindest einer Spule bewickelt ist, die mit Strom versorgt werden soll und der drehbar in dem Stator aufgenommen ist;

einer ersten Steuerung, die als Energiequelle für die erste Wicklung dient und die Drehfrequenz des Motors steuert; und

einer zweiten Steuerung, die als Energiequelle für die zweite Wicklung dient und die Ausgangsleistung oder den Drehmomentwert des Motors steuert.

Weiterhin stellt die vorliegende Erfindung eine Synchronmotorvorrichtung mit folgenden Teilen zur Verfügung:

einem Stator, der eine erste Wicklung und eine zweite Wicklung in doppelagiger Wicklungsweise aufweist;

einem Rotor, der aus einem magnetisch anisotropem Material besteht und drehbar in dem Stator aufgenommen ist;

einer ersten Steuerung, die als Energiequelle für die erste Wicklung dient und die Drehfrequenz des Motors steuert; und

einer zweiten Steuerung, die als Energiequelle für die zweite Wicklung dient und die Ausgangsleistung oder den Drehmomentwert des Motors steuert.

Bei der voranstehend beschriebenen Synchronmotorvorrichtung wird die Drehfrequenz des Motors dadurch gesteuert, daß die Drehfrequenz und die Position des Rotors durch die erste Steuerung ermittelt werden, um den Strom zu steuern, der der ersten Wicklung zugeführt wird. Die Ausgangsleistung oder der Drehmomentwert wird dadurch gesteuert, daß der der zweiten Wicklung zugeführte Strom gesteuert wird, um das Drehmomentfeld zu ändern, um so die magnetischen Kräfte zu erhöhen oder zu verringern.

Gemäß der zweiten Zielrichtung der Erfindung stellt die vorliegende Erfindung eine Synchronmaschine mit folgenden Teilen zur Verfügung:

einem Anker, der mit einem Kern versehen ist, die mit einer Feldwicklung bewickelt ist, um einen Magnetfeldfluß zu erzeugen und mit einer Ankerwicklung, die bezüglich der elektrischen Phase der Feldwicklung um 90° voreilt; und

einem Rotor, der drehbar in dem Anker aufgenommen ist und durch den Magnetfeldfluß in einer vorbestimmten Richtung magnetisiert wird.

Weiterhin stellt die vorliegende Erfindung eine Synchronmaschine mit folgenden Teilen zur Verfügung:

einem Anker, der mit einem Kern versehen ist, der mit einer Feldwicklung und einer Ankerwicklung bewickelt ist, wobei die Feldwicklung drei Paare dreiphasiger Wicklungen aufweist, die aufeinanderfolgend um einen Phasenwinkel von 120° verschoben sind und einen Magnetfeldfluß erzeugen, wobei die Ankerwicklung drei Paare dreiphasiger Wicklungen aufweist, die aufeinanderfolgend um einen Phasenwinkel von 120° verschoben sind und der Feldwicklung um im wesentlichen 90° voreilen; und einem Rotor, der drehbar in dem Anker aufgenommen ist und in einer vorbestimmten Richtung durch den Magnetfeldfluß magnetisiert wird.

Bei der voranstehend geschilderten Synchronmaschine wird der Rotor in einer vorbestimmten Richtung durch den Feldstrom der Feldwicklung magnetisiert, wird ein Drehmoment von dem Magnetfeldfluß erzeugt, welcher durch den Feldstrom und den Ankerstrom erzeugt wird, welcher der Ankerwicklung zugeführt wird, da jeder Phasenwinkel zwischen dem Rotor, dem Ankerstrom und dem Feldstrom so gesteuert wird, daß er ein konstanter, vorbestimmter Winkel ist, unabhängig von der Positionierung des Rotors. Wenn der Rotor durch eine externe Kraft gedreht wird, wird zusätzlich eine induzierte Spannung erzeugt, so daß die Synchronmaschine als Synchronmaschine des Drehfeld-Magnetpoltyps dient.

Die Erfindung wird nachstehend anhand zeichnerisch dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert, aus welchen weitere Vorteile und Merkmale hervorgehen. Es zeigt:

Fig. 2A eine Darstellung der Beziehung zwischen einem Fingerfräser mit großem Durchmesser und dem Werkstück;

Fig. 2B eine Darstellung der Beziehung zwischen einem Fingerfräser mit kleinem Durchmesser und dem Werkstück;

Fig. 3 eine Darstellung der Beziehung zwischen einem Schneidvorgang und dem Bearbeitungsradius einer Drehmaschine;

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Steuerung, welche einen Reluktanz-Synchronmotor gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet;

Fig. 4 eine Darstellung der Beziehung zwischen der Magnetpolrichtung und dem Drehmagnetfeld des Rotors bei der ersten Ausführungsform;

Fig. 5 eine Darstellung der Beziehung zwischen den Drehmagnetfeldern, die von der A-Wicklung und der B-Wicklung erzeugt werden, sowie des zusammengesetzten Magnetfelds bei der ersten Ausführungsform;

Fig. 6 eine Ansicht eines Beispiels des Ankerkerns, der doppelagige Wicklungen aufweist, bei der ersten Ausführungsform;

Fig. 7 eine Darstellung der Phasenbeziehung zwischen den Strömen der A-Wicklung und der B-Wicklung, wenn die Phasendifferenz zwischen der A-Wicklung und der B-Wicklung 90° beträgt, bei dem Reluktanz-Synchronmotor von Fig. 1;

Fig. 8 eine Darstellung der Phasenbeziehung zwischen den Strömen der A-Wicklung und der B-Wicklung bei einem Dreiphasenstrom bei dem Reluktanz-Synchronmotor von Fig. 1;

Fig. 9 eine Ansicht eines Beispiels des Ankerkerns, der durch ein Material isoliert ist, welches eine starke magnetische Reluktanz aufweist, um die Wechselwirkung zwischen der A-Wicklung und der B-Wicklung bei der ersten Ausführungsform zu verringern;

Fig. 10 eine Ansicht eines Beispiels für einen Synchronmotor, der zweipolige Permanentmagnete verwendet, gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 11 eine Ansicht eines Beispiels für den Synchronmotor von Fig. 10 mit vier Polen,

Fig. 12 eine Ansicht des Aufbaus des Ankers des dreiphasigen Synchronmotors bei einer zweiten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 13 eine Darstellung der Phasendifferenz zwischen den Strömen, welche der Feldwicklung und der Ankerwicklung zugeführt werden, bei dem dreiphasigen Synchronmotor von Fig. 12;

Fig. 14 eine Ansicht einer magnetischen Dichte, die von dem Feldstrom bei der zweiten Ausführungsform erzeugt wird;

Fig. 15 eine Ansicht eines Beispiels für einen Rotor, der aus einem magnetisch anisotropen Magnetkörper bei der zweiten Ausführungsform vorgesehen ist;

Fig. 16 eine Ansicht eines Beispiels für den Rotor, der eine Schenkelpolform aufweist, bei der zweiten Ausführungsform;

Fig. 17 eine Ansicht eines Beispiels für einen Rotor, der bei der zweiten Ausführungsform segmentartig aufgebaut ist;

Fig. 18 eine Ansicht eines Beispiels für einen Rotor, der bei der zweiten Ausführungsform hybridförmig ausgestaltet ist;

Fig. 19 eine Ansicht eines Beispiels für einen Rotor, der schenkelförmige Pole bei einer vierpoligen Ausführung im Falle der zweiten Ausführungsform aufweist;

Fig. 20 ein Blockschaltbild mit einer Darstellung der Steuerung zum Steuern der Drehgeschwindigkeit des Synchronmotors gemäß der zweiten Ausführungsform;

Fig. 21 ein Blockschaltbild der Steuerung zum Steuern der Position des Synchronmotors bei der zweiten Ausführungsform;

Fig. 22 ein Blockschaltbild der Steuerung zum Steuern in bezug auf eine Minimalisierung der Verluste des Synchronmotors gemäß der zweiten Ausführungsform;

Fig. 23 eine Ansicht eines Beispiels, bei welchem die Phasenverzögerung des Synchronmotors durch ein Reaktionsglied hervorgerufen wird, bei der zweiten Ausführungsform;

Fig. 24 eine Ansicht eines Beispiels für den Synchronmotor, der weiterhin Permanentmagneten für den Rotor bei der zweiten Ausführungsform aufweist;

Fig. 25A eine Längsschnittansicht eines Beispiels für den Synchronmotor, welcher einen zweigeteilten Anker aufweist, um den Zusammenbau zu vereinfachen, bei der zweiten Ausführungsform;

Fig. 25B eine Querschnittsansicht des in Fig. 25A gezeigten Synchronmotors;

Fig. 26 eine Ansicht eines Beispiels, bei welchem einstückig eine Rotorwelle des Motors und eine Hauptspindel einer Werkzeugmaschine vorgesehen sind, bei der zweiten Ausführungsform;

Fig. 27 eine Ansicht eines Beispiels, bei welchem die Feldwicklung und die Ankerwicklung Seite an Seite vorgesehen und angeordnet sind, bei der zweiten Ausführungsform;

Fig. 28A eine Ansicht der gegenseitigen Anordnung zwischen der Feldwicklung und der Magnetwicklung in Fig. 27;

Fig. 28B eine Ansicht der gegenseitigen Anordnung der Feldwicklung und der Magnetwicklung bei Fig. 27;

Fig. 29 eine Ansicht des Aufbaus einer Ausführungsform, bei welcher die vorliegende Erfindung bei einem Linearmotor eingesetzt wird;

Fig. 30 eine Darstellung zur Beschreibung des Prinzips von Beispielen für den Synchrongenerator gemäß der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 31 ein Blockschaltbild eines Beispiels für eine Steuerung zum Aufrechterhalten eines konstanten Ausgangsstroms bei dem Synchrongenerator von Fig. 30.

Erste Ausführungsform

Unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen wird nachstehend eine Synchronmotorvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben.

In Fig. 1' weist die Synchronmotorvorrichtung einen Reaktions-Synchronmotor 101 sowie eine Steuerschaltung zum Steuern des Reaktions-Synchronmotors 101 auf. Der Reaktions-Synchronmotor 101 ist mit einem Stator und einem Rotor versehen. Die Steuerschaltung wird später beschrieben.

In bezug auf Fig. 4 erfolgt eine Beschreibung des Reaktions-Synchronmotors 101. Wenn die Statorwicklung mit einem Dreiphasenstrom versorgt wird, um ein Drehmagnetfeld zu erzeugen, wird der Rotor in der Richtung P einer Polarachse erregt, in welcher die magnetische Reluktanz am niedrigsten ist. Dies erfolgt deswegen, da sich die magnetische Reluktanz bei unterschiedlichen Winkeln des Rotors ändert. Die Polarachsenrichtung P entspricht der Richtung, in welcher der Rotor vorspringt. Daher wird der Rotor durch das Drehmagnetfeld gedreht und die Polarachsen werden durch die Magnetisierung erzeugt.

Obwohl der in Fig. 4 gezeigte Rotor die Form eines Schenkelpols im Querschnitt aufweist, um den Rotor in der vorbestimmten Richtung (einer Polarachsenrichtung) zu magnetisieren, kann darüber hinaus der Rotor eine kreisförmige Form im Falle eines magnetisch anisotropen Magnetkörpers aufweisen, kann der Rotor mehrere Schlitze aufweisen, die sich in einer Polarachsenrichtung erstrecken, kann der Rotor hybridartig ausgebildet sein, und kann der Rotor zwei Polarachsen aufweisen, wie in den Fig. 15 bis 19 gezeigt.

In Fig. 6 weist der Stator des Synchronmotors 101 weiterhin Doppellagenwicklungen auf, nämlich eine A-Wicklung (U-V-W) und eine B-Wicklung (u-v-w). Das Drehmagnetfeld wird dadurch gesteuert, daß ein zusammengesetzter Vektor dieser Wicklungen gesteuert wird. Ein Steuerschaltbild zum Steuern des Drehmagnetfeldes wird nachstehend beschrieben.

Bezüglich Fig. 1 richtet sich die Beschreibung auf die Steuerschaltung. Die Steuerschaltung weist eine erste Steuerung sowie eine zweite Steuerung auf. Die erste Steuerung dient zur Zuführung eines A-Wicklungsstroms 1A zur A-Wicklung. Die erste Steuerung weist eine Drehfrequenz-Befehlsvorrichtung 151 auf, einen Drehfrequenzdetektor 103 zur Erfassung der Drehfrequenz N des Motors 101, einen Positionsdetektor 105 zur Ermittlung einer Rotorposition, um ein Rotorpositionssignal R zu erzeugen, einen ersten Subtrahierer 107 zum Vergleichen der Drehfrequenz N^{*} der Drehfrequenz-Befehlsvorrichtung mit der Drehfrequenz N des Motors, um eine Differenz e1 zu ermitteln, eine erste Stromfestlegungsschaltung 109 zur Festlegung eines Strombefehls m1 der A-Wicklung entsprechend der Differenz ein, einen ersten Wechselrichter 113 zur Zufuhr eines ersten vorbestimmten Stroms, nämlich des A-Wicklungsstroms 1A zur A-Wicklung, und eine erste Steuereinheit 111, welche ein erstes Steuersignal M1 festlegt, beispielsweise ein Impulsbreiten-Modulationssteuersignal zum Steuern des ersten Wechselrichters 113 entsprechend dem Strombefehl m1, dem Rotorpositionssignal R, und einem ersten erfaßten Strom I1, der nachstehend beschrieben wird.

Der erste Stromdetektor 123 ermittelt den ersten vorbestimmten Strom, um den ersten erfaßten Strom I1 zu erzeugen, welcher einen ersten Stromwert repräsentiert. Ist die Differenz e1 positiv, oder in anderen Worten dann, wenn die Drehfrequenz N wesentlich kleiner als die vorbestimmte Drehfrequenz N^{*} ist, so legt die erste Stromfestlegungsschaltung 109 das Strombefehlssignal m1 so fest, daß es den A-Wicklungsstrom 1A erhöht. Im entgegengesetzten Fall legt die erste Stromfestlegungsschaltung 109 das Strombefehlssignal m1 so fest, daß der Strom 1A verringert wird.

Die erste Steuerschaltung 111 erzeugt einen Steuerstromwert entsprechend dem Rotorpositionssignal R entsprechend dem Strom-Befehlssignal m1. Weiterhin vergleicht die erste Steuereinheit 111 den Steuerstromwert mit dem ersten Stromwert, um das erste Steuersignal M1 zu erzeugen, um die Differenz zwischen diesen Werten zu ermitteln. Die erste Steuereinheit 111 erzeugt ein erstes Steuersignal M1, beispielsweise ein Impulsbreiten-Modulationssteuersignal, zum Steuern des ersten Wechselrichters 113. In einem Fall, in welchem den Synchronmotoren ein Dreiphasenstrom zugeführt wird, erzeugt die erste Steuereinheit drei Impulsbreiten-Modulationssteuersignale, die gegeneinander um 120° phasenverschoben sind.

Die Drehfrequenz des Motors sowie die Rotorposition werden unter Einsatz eines Drehkodierers oder eines Drehmelders auf bekannte Weise festgestellt.

Die Beschreibung geht nun zur zweiten Steuerung über, welche zur Zufuhr eines B-Wicklungsstroms IB zur B-Wicklung dient. Die zweite Steuerung weist eine Ausgangs-Befehlsvorrichtung 153 zur Festlegung eines Ausgangsleistungswerts für den Motor auf, eine Ausgangsleistungs-Arithmetikschaltung 121 zur Berechnung eines Ausgangsleistungswerts für den Motor entsprechend Daten von dem Drehfrequenzdetektor 103, dem Positionsdetektor 105, dem ersten Stromdetektor 123, und dem zweiten Stromdetektor 125, einen zweiten Subtrahierer 127 zum Vergleichen des Ausgangsleistungswertes P^{*}, der durch die Ausgangsleistungs-Befehlsvorrichtung angegeben wird, mit dem Ausgangsleistungswert, der durch die Ausgangsleistungs-Arithmetikschaltung 121 berechnet wird, um eine Differenz e2 zu ermitteln, eine zweite Stromfestlegungsschaltung 129 zur Erzeugung eines Strombefehlssignals m2, welches zur Festlegung eines Stroms dient, welcher der B-Wicklung entsprechend der Differenz e2 zugeführt werden soll, einen zweiten Wechselrichter 133 zur Zufuhr eines zweiten vorbestimmten Stroms, nämlich des B-Wicklungsstroms, zur B-Wicklung, sowie eine zweite Steuereinheit 131, welche ein zweites Steuersignal M2 ausgibt, nämlich ein Impulsbreiten-Modulationssteuersignal, um den zweiten Wechselrichter 133 entsprechend dem Strombefehlssignal m2, dem Rotorpositionssignal R, und einem zweiten erfaßten Strom I2 zu steuern, welcher in Kürze beschrieben wird.

Der zweite Stromdetektor 125 stellt den zweiten vorbestimmten Strom fest, um den zweiten festgestellten Strom I2 zu erzeugen. Ist die Differenz e2 positiv, oder ist mit anderen Worten der Ausgangswert, der von der Ausgangsleistungs-Arithmetikschaltung 121 berechnet wird, kleiner als der vorbestimmte Ausgangsleistungswert P^{*}, so gibt die zweite Stromfestlegungsschaltung 129 das Strombefehlssignal m2 aus, um den der B-Wicklung zugeführten Strom zu erhöhen, so daß die magnetische Kraft des zusammengesetzten Magnetfeldes zunimmt. Wenn daher, wie in Fig. 4 gezeigt, eine Richtung eines magnetisierten Magnetpols des Rotors durch P bezeichnet wird und eine zusammengesetzte Richtung des Drehmagnetfeldes, die durch den A-Wicklungsstrom 1A und den B-Wicklungsstrom IB erzeugt wird, durch HO bezeichnet wird, so wird der B-Wicklungsstrom IB erhöht, so daß der Belastungswinkel δ zunimmt.

Dies erfolgt aufgrund der Tatsache, daß sich — das Drehmoment dadurch erhöht, daß die Richtung eines Wechselstroms geändert wird, der ein Drehmagnetfeld erzeugt, in Richtung auf einen rechten Winkel mit einer Richtung eines Magnetfeldvektors infolge eines Magnetpols. Wie in Fig. 5 gezeigt, erhöht sich daher ein von dem B-Wicklungsstrom IB erzeugtes Magnetfeld HB in einer positiven Richtung in bezug auf eine Richtung des Drehmagnetfeldes HA, welches von dem A-Wicklungsstrom IA erzeugt wird. Das zusammengesetzte Magnetfeld HO bewegt sich, so daß sich die Phase nach vorne bewegt. Ist die Differenz e_2 negativ, so wird der B-Wicklungsstrom IB erhöht, so daß das Magnetfeld HB in einer negativen Richtung vergrößert wird.

Die zweite Steuereinheit 131 erzeugt einen Steuerstromwert entsprechend dem Rotorpositionssignal R entsprechend dem Strombefehlssignal m2. Zusätzlich vergleicht die zweite Steuereinheit 131 den Steuerstromwert mit einem zweiten Stromwert des zweiten Stromdetektors 125, um das zweite Steuersignal M2 für den zweiten Wechselrichter 133 entsprechend der dazwischen auftretenden Differenz zu erzeugen. Das zweite Steuersignal M2 dient zum Regeln des B-Wicklungsstroms IB, so daß ein Phasenwinkel der Voreilung oder der Nacheilung des B-Wicklungsstroms IB, welcher dem zweiten Wechselrichter zugeführt wird, in bezug auf den A-Wicklungsstrom IA, welcher dem ersten Wechselrichter zugeführt wird, 90° wird. In einem Fall, in welchem Dreiphasenstrom dem Synchronmotor zugeführt wird, erzeugt die zweite Steuereinheit drei Impulsbreiten-Modulationssteuersignale, welche gegeneinander um jeweils 120° phasenverschoben sind.

Die Drehfrequenz N* und der Ausgangsleistungswert P*, die durch eine Drehfrequenz-Befehlsvorrichtung 151 bzw. eine Ausgangsleistungs-Befehlseinrichtung 153 vorgegeben werden, müssen nicht notwendigerweise konstant sein und können sich zeitabhängig und in Abhängigkeit von den Bedingungen ändern. Beispielsweise können der Start und dergleichen des Motors durch eine programmierte Steuerung oder Logiksteuerung gesteuert werden.

In Fig. 6 weist der Ankerkern vier Pole, vierundzwanzig Schlitze sowie zwei Wicklungen in doppellageriger Anordnung auf, nämlich die A-Wicklung und die B-Wicklung, an welche ein Dreiphasen-Wechselstrom angelegt wird. In Fig. 6 bezeichnet die Bezugsziffer 201 den Ankerkern und die Bezugsziffer 203 den Rotor. Die Bezugsziffern 205 und 207 bezeichnen die doppellagige Wicklung. In diesem Fall wird die A-Wicklung durch eine Kombination von Spulen U, V, W, U', V' und W' gebildet. Die B-Wicklung wird durch eine Kombination von Spulen u, v, w, u', v', und w' gebildet. Die Wicklungen sind auf aus dem Stand der Technik bekannte Weise gewickelt. Um Wechselwirkungen zwischen der A-Wicklung und der B-Wicklung zu verringern, kann der Anker eine Isolierung aufweisen, welche aus einem Material 211 besteht, welches eine starke magnetische Reluktanz aufweist und zwischen der A-Wicklung und der B-Wicklung angeordnet ist.

Fig. 7 zeigt eine Phasenbeziehung zwischen Strömen, die den Spulen U und u zugeführt werden, in einem Fall, in welchem die Ströme der A-Wicklung und der B-Wicklung gegeneinander um 90° phasenversetzt sind.

Fig. 8 zeigt eine Phasenbeziehung zwischen den Strömen, die durch jede der Wicklungen fließen, an welche ein Dreiphasen-Wechselstrom angelegt wird. Die Drehfrequenz des Motors und die Polrichtung des Rotors können durch einen Drehkodierer oder einen Drehmelder auf dem Stand der Technik wohlbekannte Weise festgestellt werden.

Wenn das Drehmagnetfeld HA stärker als das Drehmagnetfeld HB ist, beispielsweise wenn ein Stromwert mit dem Betrag IA durch die A-Wicklung fließt und um ein Mehrfaches größer als ein Stromwert mit dem Betrag IB ist, wird die Richtung des Magnetpols, welcher den Rotor magnetisiert, durch das rotierende Magnetfeld HA bestimmt, welches im wesentlichen durch den A-Wicklungsstrom IA erzeugt wird und der B-Wicklungsstrom kann als ein Strom zur hauptsächlichen Kontrolle des Drehmagnetfeldes HA eingesetzt werden.

Obwohl bei dem voranstehend beschriebenen Synchronmotor die Phasendifferenz zwischen dem A-Wicklungsstrom IA und dem B-Wicklungsstrom IB 90° beträgt, kann die Phasenverschiebung auch ein vorbestimmter Winkel α sein ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$). Vorzugsweise beträgt die Phasendifferenz 90° , um eine Wechselwirkung, die durch die Ankerreaktion hervorgerufen wird, zu steuern, zu verringern, usw.

Die Ausgangsleistung läßt sich anhand der Drehfrequenz des Motors, der Rotorposition und der in den Wicklungen IA und IB fließenden Ströme berechnen, auf dem Stand der Technik wohlbekannte Weise, oder die Ausgangsleistung läßt sich vorher experimentell ermitteln.

Obwohl bei dem voranstehend beschriebenen Synchronmotor ein Verfahren zum gleichzeitigen Steuern der Drehfrequenz und des Ausgangsleistungswertes beschrieben wird, kann das Verfahren auch dazu eingesetzt werden, gleichzeitig die Drehfrequenz und das Ausgangsdrehmoment zu steuern.

Unter Bezug auf die Fig. 10 und 11 richtet sich die Beschreibung nunmehr auf Synchronmotoren gemäß geänderter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Jeder der Synchronmotoren weist Magnetpole auf, die durch Permanentmagnete erzeugt werden. Fig. 10 zeigt einen Fall, in welchem die Anzahl der Magnetpole zwei beträgt. Fig. 11 zeigt einen Fall, in welchem die Anzahl der Magnetpole vier beträgt.

In Fig. 10 bezeichnet die Bezugsziffer 231 einen Rotor. Der Rotor ist mit Permanentmagneten 233 und 235 versehen, die außen am Rotor befestigt sind. Die Bezugsziffer 241 bezeichnet einen Anker. Der Anker ist mit einer A-Wicklung 243 und einer B-Wicklung 245 doppellagig bewickelt. Wird ein Strom der A-Wicklung und der B-Wicklung zugeführt, wie in der Figur gezeigt, also wenn die B-Wicklung der A-Wicklung um 90° nacheilt, wird ein Drehmagnetfeld durch die A-Wicklung in einer Richtung erzeugt, die durch die durchgezogene Linie in der Figur angedeutet ist, und es wird ein Drehmagnetfeld durch die B-Wicklung in einer Richtung erzeugt, die durch eine gestrichelte Linie angedeutet ist.

Der Rotor weist eine Magnetpolrichtung auf, die hauptsächlich durch die Permanentmagnete festgelegt ist. Die Drehfrequenz und der Ausgangsleistungswert des Motors werden durch das Drehmagnetfeld festgelegt, welches durch die Ströme erzeugt wird, die der A-Wicklung und der B-Wicklung zugeführt werden. Wenn die Phasendifferenz zwischen dem A-Wicklungsstrom IA und dem B-Wicklungsstrom IB 90° beträgt, so läßt sich die Polrichtung einfach dadurch steuern, daß der B-Wicklungsstrom IB gesteuert wird. Zusätzlich kann auch ein Belastungswinkel einfach gesteuert werden. Die Stromwerte der Beträge IA und IB unterscheiden sich nicht

notwendigerweise voneinander und können in gewisser Weise einen gleichen Wert aufweisen.

Es ist möglich, die Reaktion des Synchronmotors durch die Permanentmagneten auf die in Fig. 1 beschriebene Weise zu steuern.

Im Falle der Fig. 11 beträgt die Anzahl der Magnetpole vier. In diesem Fall kann der Reaktions-Synchronmotor auf die voranstehend beschriebene Weise gesteuert werden, aber ebenso auch wie im Falle von Fig. 10.

Zwar richtet sich die Beschreibung nur auf den Synchronmotor des Drehtyps, jedoch läßt sich die vorliegende Erfindung auch bei einem Synchronmotor des Lineartyps einsetzen.

Wie voranstehend erläutert kann die erste Ausführungsform der Erfindung einfach die Drehfrequenz und den Ausgangsleistungswert oder die Drehfrequenz und das Ausgangsdrehmoment steuern. Daher ergeben sich vielfältige Einsatzzwecke als Hauptspindelmotor bei Werkzeugmaschinen, deren Ausgangsleistungswert vorzugsweise konstant ist.

Zweite Ausführungsform

Nachstehend wird unter Bezug auf die Figuren ein Drehsynchronmotor gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben.

In Fig. 12 weist ein Dreiphasen-Synchronmotor 101 einen Ankerkern 13 auf, der mit vierundzwanzig Schlitzen 15 versehen ist. Eine Feldwicklung 17 und eine Ankerwicklung 19 sind um den Ankerkern 13 doppelagig durch jeden der Schlitze 15 gewickelt. Der Ankerkern 13 nimmt in seinem Inneren einen Rotor 21 auf. Der Rotor kann einfach in einer vorbestimmten Richtung magnetisiert werden.

Die Feldwicklung 17 weist eine erste, zweite, dritte, vierte, fünfte und sechste Feldspule u, v, w, u', v' und w' auf. Die Ankerwicklung 19 weist eine erste, zweite, dritte, vierte, fünfte und sechste Ankerspule U, V, W, U', V' und W' auf. Die erste, zweite und dritte Feldspule u, v, w sind gegeneinander um einen Winkel von 120° versetzt angeordnet. Die vierte, die fünfte und die sechste Feldspule u', v' und w' sind gegeneinander um einen Winkel von 120° versetzt angeordnet. Die erste, die zweite und die dritte Ankerspule U, V und W sind gegeneinander um 120° versetzt angeordnet. Die vierte, die fünfte und die sechste Ankerspule U', V' und W' sind gegeneinander um einen Winkel von 120° versetzt angeordnet. Die erste, die zweite und die dritte Feldspule u, v und w sind um einen Winkel von 90° gegenüber der ersten, der zweiten bzw. der dritten Ankerspule U, V, W verschoben. Die vierte, die fünfte und die sechste Feldspule, u', v' und w' sind um einen Winkel von 90° gegenüber der vierten, der fünften bzw. der sechsten Ankerspule U', V' und W' verschoben.

Nachstehend erfolgt in bezug auf Fig. 13 im Zusammenhang mit Fig. 12 eine weitere Erläuterung. Wenn die Feldwicklungsströme I_u, I_v und I_w der Feldwicklung 17 zugeführt werden, wird ein zusammengesetztes Magnetfeld N und S erzeugt. In diesem Fall stellt die Magnetflußverteilung eine Sinuswelle dar. Wenn ein maximaler Magnetfluß m ist, wobei ein Magnetflußzentrum Θ gleich Null ist, ergibt sich der Magnetfluß aus Gleichung (1).

$$\Phi = \Phi_m \cdot \cos \Theta \quad (1)$$

In einem Fall, in welchem der Rotor eine Achse mit einfacher Magnetisierung aufweist, wird der Rotor in der vorbestimmten Richtung magnetisiert, wenn die Feldwicklungsströme auf solche Weise gesteuert werden, daß das Magnetflußzentrum des Magnetfeldes mit der Achse der einfachen Magnetisierung zusammenfällt. In diesem Fall weist das Magnetfeld eine Magnetflußdichte auf, die durch eine Gleichung (2) gegeben ist.

$$B = B_m \cdot \cos \Theta \quad (2)$$

Dreiphasenströme I_U, I_V und I_W werden der Ankerwicklung zugeführt. Die Dreiphasenströme I_U, I_V und I_W eilen den Feldwicklungsströmen I_u, I_v und I_w um den vorbestimmten Winkel α vor, vorzugsweise um 90° , bezüglich der elektrischen Phase.

Dies führt zur Erzeugung eines Drehmoments T , so daß der Rotor entsprechend dem Fleming-Gesetz gedreht wird. Das Drehmoment T ergibt sich wie nachstehend angegeben.

In einem Fall, in welchem die Phasen der Ankerströme I_U, I_V und I_W so gesteuert werden, daß sie mit den Magnetpolen des magnetisierten Rotors zusammenfallen, ergibt sich das Drehmoment T wie nachstehend angegeben. Magnetflußdichten B_U, B_V und B_W jeder Spule der Ankerspulen U, V und W werden durch Gleichung (3) dargestellt.

$$\begin{aligned} B_U &= B_m \cdot \cos \Theta \\ B_V &= B_m \cdot \cos(\Theta - 120^\circ) \\ B_W &= B_m \cdot \cos(\Theta - 240^\circ) \end{aligned} \quad (3)$$

Da die Ankerströme I_U, I_V und I_W so gesteuert werden, daß sie mit den Positionen der Magnetpole zusammentreffen, ergeben sich die Ankerströme I_U, I_V und I_W aus Gleichung (4).

$$\begin{aligned} I_U &= I_m \cdot \cos \Theta \\ I_V &= I_m \cdot \cos(\Theta - 120^\circ) \\ I_W &= I_m \cdot \cos(\Theta - 240^\circ) \end{aligned} \quad (4)$$

Daher wird das Drehmoment T durch die Gleichung (5) ausgedrückt.

$$T = K(B_U I_U + B_V I_V + B_W I_W) = 3/2 K B_m I_m \quad (5)$$

Hierbei bezeichnet B_m die maximale Magnetflußdichte, I_m den Maximalwert des Ankerstroms, und θ einen Phasenwinkel zwischen dem Zentrum des Magnetpols und der Spule U . Zusätzlich wird durch den Ankerstrom eine Magnetflußdichte Φ' erzeugt. Da jedoch der Rotor aus einem magnetisch anisotropen Material besteht und die magnetische Reluktanz in der Richtung des Magnetflusses stark ist, wird der Magnetfluß Φ' nicht beeinflusst.

Die voranstehend erwähnte Beziehung ist schematisch in Fig. 14 erläutert.

In bezug auf die Fig. 15 bis 18 ist die Beschreibung auf ein Beispiel für einen magnetisch anisotropen Rotor gerichtet. Ein Rotor 31 besteht aus einem magnetisch anisotropen Magnetkörper, und der Schnitt weist Kreisform auf. Das Metall für den magnetisch anisotropen Magnetkörper besteht aus einem kornorientierten Siliziumstahl, einem kornorientierten Nichteisenstahl oder dergleichen. In Fig. 15 kann der magnetisch anisotrope Magnetkörper einfach in einer ersten Richtung X magnetisiert werden, jedoch schwer in einer zweiten Richtung Y , welche senkrecht zur ersten Richtung X verläuft.

Unter Bezug auf Fig. 16 erfolgt eine Beschreibung eines weiteren Beispiels für einen magnetisch anisotropen Rotor. Ein Rotor 33 ist vom Schenkelpoltyp und besteht aus einem isotropmagnetischen Körper. Der Rotor 33 kann einfach in der ersten Richtung X magnetisiert werden, jedoch schwer in der zweiten Richtung Y , infolge von Abschneidephänomenen.

In bezug auf Fig. 17 erfolgt eine Beschreibung eines weiteren Beispiels eines magnetisch anisotropen Rotors. Ein Rotor 35 ist vom Segmenttyp. Der Rotor 35 weist einen Innen- und einen Außenabschnitt auf. Der Innenabschnitt besteht aus einem nicht-magnetischen Körper 37. Der Außenabschnitt besteht aus einem magnetischen Körper 39. Der Magnetkörper 39 ist mit Luftspalten 41 in der ersten Richtung X versehen. Die Luftspalte 41 können nicht-magnetische Körper sein. Der Rotor 35 kann einfach in der ersten Richtung X magnetisiert werden, infolge seines geringen magnetischen Widerstandes, kann jedoch nur schwer in der zweiten Richtung Y magnetisiert werden.

In bezug auf Fig. 18 erfolgt eine Beschreibung eines weiteren Beispiels für einen weiteren magnetisch anisotropen Rotor. Ein Rotor 43 ist vom Hybridtyp. Der Rotor 43 besteht aus einem Magnetkörper 45. Der Magnetkörper 45 ist mit Luftspalten 47 in der ersten Richtung X versehen. Die Luftspalte 47 können ein nicht-magnetischer Körper sein. Daher kann der Rotor 43 einfach in der ersten Richtung X magnetisiert werden, kann jedoch nur schwer in der zweiten Richtung Y magnetisiert werden.

In bezug auf Fig. 19 erfolgt eine Beschreibung eines weiteren Beispiels für einen Rotor, der vier Magnetpole aufweist. Der Rotor 49 kann einfach in den Richtungen X und X' magnetisiert werden, jedoch schwer in den Richtungen Y bzw. Y' magnetisiert werden.

Wie voranstehend erläutert stellt der Rotor eine magnetische Anisotropie in der vorbestimmten Richtung zur Verfügung, welche senkrecht zur Drehachsenrichtung verläuft. Der Anker ist mit zwei Paaren dreiphasiger Wicklungen gewickelt. Die Stromphasen der beiden Wicklungen sind vorzugsweise um einen Winkel von 90° gegeneinander verschoben. Daher erzeugt ein Feldmagnetfluß, der durch die Feldwicklungsströme und die Ankerwicklungsströme erzeugt wird, ein Drehmoment entsprechend Fleming's Gesetz. Dies führt dazu, daß es möglich ist, eine vollständige Vektorsteuerung zu erzielen, welche das am meisten bevorzugte Drehmoment des Maximalwertes mit dem Magnetfluß Φ und dem Strom I erzeugen kann.

Falls der Feldmagnetfluß proportional zum Feldstrom ist, ergibt das Drehmoment T aus Gleichung (6).

$$T = K_2 \cdot I_A \cdot I_B \quad (6)$$

Hierbei gibt I_A den Feldstrom an und I_B den Ankerstrom.

Auf die voranstehend beschriebene Weise wird durch den Ankerstrom I_B auch ein Ankerreluktanz-Magnetfluß Φ' erzeugt. Die Richtung des Magnetflusses Φ' verläuft senkrecht zur Richtung des erstgenannten Magnetflusses Φ . Wenn allerdings der Rotor aus einem magnetisch isotropen Material besteht, welches im Querschnitt kreisförmig ist und ein konstanter Luftspalt um den Rotor herum vorhanden ist, kann der Rotor nicht gedreht werden.

Ist der Rotor ein magnetisch anisotroper Rotor, der eine einfach zu magnetisierende Achse in der Richtung entlang des Magnetflusses aufweist, so wird ein Drehmoment T entsprechend der Gleichung (5) selbst dann erzeugt, wenn der Rotor kreisförmig ist und ein konstanter Luftspalt um den Rotor herum vorgesehen ist.

Daher wird der Synchronmotor gemäß der vorliegenden Erfindung mit einem Rotor aus einem Material erzielt, welches einfach in der Richtung des erstgenannten Magnetflusses Φ magnetisierbar ist und in der Richtung des zweiten angegebenen Magnetflusses Φ schwer zu magnetisieren ist.

Daher ist es bei dem Synchronmotor gemäß der vorliegenden Erfindung nicht erforderlich, daß eine Feldspule um den Rotor herum gewickelt wird oder ein Permanentmagnet für den Rotor zur Verfügung gestellt wird, wie bei konventionellen Synchronmaschinen. Darüber hinaus erfordert der Synchronmotor gemäß der vorliegenden Erfindung keine Siliziumstahlplatte für den Rotor, noch die Bereitstellung von Schlitzen oder eine Käfigläuferwicklung aus Aluminium, Kupfer oder dergleichen, und erzeugt keine Wärme infolge induzierter Ströme, verglichen mit einem konventionellen Induktionsmotor.

Der Synchronmotor gemäß der vorliegenden Erfindung läßt sich wie nachstehend angegeben einsetzen.

Die Ausgangsleistung P (Watt) des Motors in Gleichung (5) ergibt sich aus Gleichung (7).

$$P = 2\pi n T = \sqrt{3} EI \quad (7)$$

Hierbei bezeichnet n die Umdrehungen pro Sekunde (U/sek) des Motors, T das Drehmoment (Nm), E eine elektromotorische Rückwärtskraft (v) zwischen den Dreiphasenwicklungen, und I einen Phasenstrom (A). Die elektromotorische Rückwärtskraft E (v) wird durch Gleichung (8) dargestellt, in welcher k eine Proportionalkonstante darstellt und Φ eine Magnetflußdichte.

$$E = k \cdot \Phi \cdot n(v) \quad (8)$$

Entsprechend den Gleichungen (7) und (8) kann der Synchronmotor auf folgende Weise eingesetzt werden: Als Synchronmotor, welcher die Magnetflußdichte Φ konstant hält und eine konstante Drehmomentcharakteristik im Bereich der Drehung von 0 bis n aufweist, als ein Synchronmotor, bei welchem die Magnetflußdichte Φ variabel ist und der eine konstante Ausgangsleistung im Bereich von 0 bis n bezüglich der Drehzahl aufweist, als ein äußerst wirksamer Synchronmotor, welcher eine ordnungsgemäße Steuerung des Produkts von $\Phi \cdot I$ aufweist, um Motorverluste bei verschiedenen Belastungen zu minimalisieren und dergleichen. Daher läßt sich der Synchronmotor gemäß der vorliegenden Erfindung auf jedem industriellen Gebiet einsetzen. Einige konkrete Beispiele werden nachstehend beschrieben.

Bezüglich Fig. 20 erfolgt eine Beschreibung eines Wechselspannungs-Servomotors, dessen Drehzahl durch den Synchronmotor 101 gemäß der vorliegenden Erfindung gesteuert wird.

Wie in Fig. 12 gezeigt, weist der Synchronmotor 101 die Ankerwicklung 19 und die Feldwicklung 17 auf. Der Ankerwicklung 19 und der Feldwicklung 17 werden ein Ankerstrom I_a und ein Feldstrom I_f zugeführt. Der Positions- und Drehzahldetektor 143 ermittelt eine Magnetpolposition und die Drehzahl. Der Positions- und Drehzahldetektor 143 stellt die Drehzahl und die Magnetpolposition auf dem Stand der Technik bekannte Weise fest, beispielsweise durch einen Drehkodierer oder einen Drehmelder.

Der Ankerstrom I_a und der Feldstrom I_f werden auf die nachstehend beschriebene Weise durch den ersten Wechselrichter 145 und den zweiten Wechselrichter 147 gesteuert. Daher wird die Drehzahl des Synchronmotors 101 auf die nachstehend angegebene Weise gesteuert.

Zuerst wird ein Drehzahlverstärker 161 mit einem Drehzahl-Befehlssignal S_1 versorgt, welches eine gewünschte Drehfrequenz repräsentiert. Der Positions- und Umdrehungsdetektor 143 ermittelt die Drehfrequenz des Synchronmotors 101, um ein Drehzahlssignal S_2 zu erzeugen, welches dem Drehzahlverstärker 161 zugeführt wird. In Reaktion auf den Drehzahlbefehl und die Umdrehungssignale S_1 und S_2 erzeugt der Drehzahlverstärker 161 ein Ankerstrom-Steuerbefehlssignal S_3 .

Ein Ankerstromverstärker 163 wird mit dem Ankerstrom-Befehlssteuersignal S_3 und ebenso mit einem Ankerstrom-Befehlssignal S_5 versorgt. Ein Ankerstromsignal S_7 , welches von einem Ankerstromdetektor 115 festgestellt wird, der an einer Ausgangsseite des ersten Wechselrichters 145 vorgesehen ist, wird auf den Ankerstromverstärker 163 rückgekoppelt. Der Ankerstromverstärker 163 wird mit einem Wechselrichter-Steuersignal S_9 versorgt.

Während der Feldstromverstärker 171 mit dem Feldstrom-Befehlssignal S_{11} versorgt wird, wird das Feldstromsignal S_{13} , das von einem Feldstromdetektor 117 ermittelt wird, der an einer Ausgangsseite des zweiten Wechselrichters vorgesehen ist, auf den Feldstromverstärker 171 rückgekoppelt. Der Feldstromverstärker 171 gibt ein Wechselrichtersteuersignal S_{15} aus, zum Steuern des zweiten Wechselrichters 147.

Weiterhin wird ein Anker- und Feldstromphasen-Steuerverker 173 mit einem Magnetpol-Positionssignal S_4 , dem Ankerstromsignal S_7 und dem Feldstromsignal S_{13} versorgt. Der erste Wechselrichter 145 und der zweite Wechselrichter 147 werden mit Steuersignalen S_{17} und S_{19} versorgt, um jede Phase und Frequenz der Ströme von dem Anker- und Feldstromphasensteuerverstärker 173 zu steuern. Daher dient der Synchronmotor gemäß der vorliegenden Erfindung als ein Wechselspannungs-Servomotor, durch Steuerung der Ströme I_a und I_f , zur Bereitstellung der gewünschten Drehzahl.

Fig. 21 ist eine Darstellung eines weiteren Beispiels für die vorliegende Erfindung und zeigt ein Blockschaltbild eines Wechselspannungs-Servomotors, bei welchem ein Lastbewegungsbereich oder ein Drehwinkel bezüglich der Last gesteuert wird. Fig. 21 weist dieselben Schaltkreise auf wie Fig. 20 mit denselben Bezugsziffern; daher wird auf eine entsprechende Beschreibung verzichtet.

Ein Positionsabweichungsverstärker 251 wird mit einem Positions-Befehlssignal S_{21} versorgt, welches den gewünschten Lastbewegungsbereich oder den Lastdrehwinkel repräsentiert. Ein Lastbewegungsbereichssignal S_{23} wird durch einen Lastbewegungsbereichserfassungssensor 253 festgestellt. Dem Positionsabweichungsverstärker 251 wird das Lastbewegungsbereichssignal S_{23} und das Magnetpolpositionssignal S_{25} zugeführt. Dem Drehzahlverstärker 161 wird ein Drehzahl-Befehlssignal S_{27} zugeführt, welches von dem Positionsabweichungsverstärker 251 erzeugt wird und auf diese Weise wird der Motor gedreht und der Lastbewegungsbereich oder der Lastdrehwinkel gesteuert.

Bezüglich Fig. 22 erfolgt eine Beschreibung eines weiteren Beispiels eines äußerst wirksamen Steuersystems gemäß der vorliegenden Erfindung. Das äußerst wirksame Steuersystem kann die Verluste des Synchronmotors 101 verringern. In Fig. 22 sind dieselben Schaltkreise wie in Fig. 20 gezeigt mit denselben Bezugsziffern; daher wird auf eine eingehende Beschreibung verzichtet.

Wie voranstehend erläutert, wird der Ausgangsleistungswert durch $p = 2\pi nT$ repräsentiert, wie in Gleichung (7) angegeben, und das Drehmoment T durch $T = k_2 \cdot I_a \cdot I_b$, entsprechend Gleichung (6). Daher kann der Synchronmotor mit einem hohen Wirkungsgrad laufen, wenn die Beziehung zwischen dem Ankerstrom I_a und dem Feldstrom I_f so geregelt wird, daß die Verluste des Motors auf ein Minimum verringert werden, entsprechend dem Feldmagnetfluß und den Motoreigenschaften. Die Feldmagnetflußeigenschaften werden durch einen Ankerwicklungswiderstand R_a , einen Feldwicklungswiderstand R_f und den Feldstrom I_f repräsentiert. Die Motoreigenschaften wie beispielsweise Eisenverluste werden durch die Frequenz des Ankers und den Feldstrom festgelegt. Die gewünschte Drehfrequenz und das Drehmoment werden so gesteuert, daß ihr jeweiliger Anteil einen äußerst wirksamen Lauf ergeben.

Unter Bezug auf Fig. 22 wird nachstehend ein Beispiel für ein hochwirksames Steuersystem zum Minimalisieren der Kupferverluste des Motors beschrieben.

Wenn der Ankerstrom durch I_a (A) festgelegt ist, der Feldstrom I_f (A), der Ankerwiderstand durch R_a (Ω) und der Feldmagnetwiderstand durch R_f (Ω), so wird der Kupferverlust P_c (w) durch eine Gleichung (9) gegeben und

das Drehmoment T (Nm) durch eine Gleichung (10).

$$P_c = I_a^2 \cdot R_a + I_f^2 \cdot R_f(w) \quad (9)$$

$$T = K \cdot I_a \cdot I_f \text{ (Nm)} \quad (10)$$

Ein Lastdrehmoment ergibt sich aus dem Strom I_a und I_f , welcher durch den Ankerstromdetektor 115 bzw. den Feldstromdetektor 115 ermittelt wird. Die Ströme I_a und I_f werden so gesteuert, daß sie nicht niedriger als das Lastdrehmoment sind, um ein erstes Steuerbefehlssignal I_{a*} und ein zweites Steuerbefehlssignal I_{f*} festlegen, um so die Kupferverluste P_c zu minimalisieren und auf diese Weise eine Steuerung durch das erste und zweite Steuerbefehlssignal I_{a*} und I_{f*} durchzuführen. Es wird nämlich in Fig. 22 eine Motorverlustminimalisierungs-Steuerschaltung 211 mit dem Ankerstrom I_a versorgt, der durch den Ankerstromdetektor 115 festgestellt wird und mit dem Feldstrom I_f , der von dem Feldstromdetektor 117 ermittelt wird. Der Ankerwiderstand R_a und der Feldwiderstand R_f der Motorverlustminimalisierungs-Steuerschaltung 211 werden auf einen Eigenwert gesetzt, der durch den Motor festgelegt ist. Das erste Steuerbefehlssignal I_{aH*} und das zweite Steuerbefehlssignal I_{f*} , die von der Motorverlustminimalisierungs-Steuerschaltung 211 erzeugt werden, werden dem Ankerstromverstärker 163 und dem Feldstromverstärker 171 anstatt des Ankerstromsignals 57 und des Feldstromsignals S13 in Fig. 20 zugeführt, und auf diese Weise wird die Minimalisierung der Motorkupferverluste realisiert und eine äußerst wirksame Steuerung sichergestellt.

Anhand von Fig. 23 erfolgt eine Beschreibung eines weiteren Beispiels für den Synchronmotor gemäß der vorliegenden Erfindung. Der Synchronmotor weist einen Rotor 227 auf, die Ankerwicklung 19 und die Feldwicklung 17. Die Ankerwicklung 19 ist direkt an eine Dreiphasen-Wechselstromquelle angeschlossen. Die Feldwicklung 17 ist mit der Dreiphasen-Wechselstromquelle über einen Kondensator 221 und einen elektromagnetischen Schalter 223 verbunden. Der elektromagnetische Schalter 223 wird durch eine Synchronisierschaltung 225 gesteuert.

Zuerst, wenn die Ankerwicklung 19 mit dem Dreiphasen-Wechselstrom versorgt wird, wobei der elektromagnetische Schalter 223 ausgeschaltet ist, fließt ein induzierter Strom durch den Rotor 227, so daß ein Drehmagnetfeld, welches von der Ankerwicklung 19 und dem induzierten Strom hervorgerufen wird, ein Drehmoment entsprechend Fleming's Gesetz erzeugen, um den Motor als Induktionsmotor zu drehen. Erreicht die Drehzahl des Motors eine Synchrongeschwindigkeit infolge des induzierten Drehmoments, so wird die Synchronschaltung 225 so betätigt, daß sie den elektromagnetischen Schalter 223 einschaltet. Die Feldwicklung 17 wird mit einem Strom versorgt, dessen Phase um 90° verschoben ist infolge des Kondensators 221, so daß ein Feldmagnetpol in dem Rotor 227 erzeugt wird. Zwischen dem Feldmagnetpol und dem Drehmagnetfeld wird eine Anziehung hervorgerufen. Der Rotor wird mit der Anziehung synchronisiert und dreht sich als Synchronmotor. Eine Spule oder sowohl eine Spule als auch ein Kondensator können anstatt des Kondensators 221 eingesetzt werden.

Anhand von Fig. 24 erfolgt eine Beschreibung eines weiteren Beispiels für die vorliegende Erfindung. Der Synchronmotor weist einen Rotor 241 auf. In diesem Fall ist der Rotor 241 mit Permanentmagneten 243a und 243b versehen. Ein Permanentmagnet-Magnetfluß Φ_1 wird durch den Permanentmagneten 243a und 243b erzeugt. Ein Feldwicklungs-Magnetfluß Φ wird durch die Feldwicklung 17 (u, v, w) erzeugt.

Der Rotor 241 ist mit dem (nicht gezeigten) Magnetpolpositionsdetektor versehen, um den Feldmagnetstrom zu steuern, so daß die Richtung des Permanentmagnet-Magnetflusses Φ_1 mit der Richtung des Feldwicklungs-Magnetflusses Φ zusammenfällt. Wenn in diesem Fall der Permanentmagnet-Magnetfluß Φ_1 und der Feldwicklungs-Magnetfluß Φ dieselbe Phase haben, so entsteht ein zusammengesetzter Feldmagnetfluß $\Sigma\Phi = \Phi_1 + \Phi$, welcher den Feldmagnetfluß erhöht. Sind der Permanentmagnetfluß Φ_1 und der Feldwicklungs-Magnetfluß Φ in Antiphasen, so entsteht ein zusammengesetzter Feldmagnetfluß $\Sigma\Phi = \Phi_1 - \Phi$, welcher den Feldmagnetfluß verringert.

Unter Bezug auf die Fig. 25A und 25B erfolgt die Beschreibung eines Beispiels für einen Synchronmotor, der einen Anker aufweist, der zweigeteilt werden kann, um den Zusammenbau des Motors zu erleichtern. In den Fig. 25A und 25B weisen die unterteilten Anker 261a und 261b Wicklungen 263a bzw. 263b auf.

Daher ergeben sich verringerte Einschränkungen für den Zusammenbau des Motors. Die unterteilten Anker 261a und 261b können so kombiniert werden, daß sie einander in einer Pfeilrichtung gegenüberliegen, die in Fig. 25 angegeben ist. Daher kann ein Lager 265 auf einer Drehachse 267 angebracht werden, unabhängig vom Zusammenbau des Motors.

In bezug auf Fig. 26 erfolgt eine Beschreibung eines Beispiels, bei welchem die Hauptspindel einer Werkzeugmaschine einstückig mit der Rotorwelle des Motors ausgebildet ist. Ein Anker 285 ist so gewickelt, daß sich in ihm eine Ankerwicklung und eine Feldwicklung befinden. In einem Fall, in welchem die Hauptspindel 281 aus einem magnetischen Körper besteht, wird ihr Endabschnitt so bearbeitet, daß ein Rotor gemäß der vorliegenden Erfindung ausgebildet wird, und ein Anker 285 um den Rotor herum angeordnet wird, so daß es möglich ist, die Werkzeugmaschine und den Motor einstückig auszubilden. Eine Schneidvorrichtung 287 ist auf einem Werkzeug 289 befestigt. Das Werkzeug 289 ist an der Hauptspindel 281 befestigt. Durch ein Lager 291 wird die Hauptspindel 281 drehbar gehalten.

In den Fig. 27 28A und 28B ist ein weiteres Beispiel für einen Synchronmotor gezeigt, welcher in einer Achsenrichtung zusammengebaut werden kann. Der Synchronmotor weist eine Feldwicklung 301 auf, eine Ankerwicklung 303, Ankerkerne 305 und 307, eine Drehwelle 313 und einen Rotor 319. Die Ankerkerne 305 und 307 sind mit der Feldwicklung 301 bzw. der Ankerwicklung 303 bewickelt. Die Ankerkerne 305 und 307 sind in Axialrichtung seitlich nebeneinander angeordnet. Bezugsachsen 309 und 311 sind so eingestellt, daß die Phasendifferenz zwischen den Ankerkernen 305 und 307 vorzugsweise 90° beträgt. In Fig. 27 besteht der Rotor 319 aus einem magnetischen Körper 315 sowie einem Magnetkörper 317 um die Drehwelle 313 herum. Die Anker-

kerne 305 und 307 sind auf der Außenseite des Rotors 319 angeordnet. Ein Verbindermagnetkörper 321 zur Ausbildung einer magnetischen Schaltung ist auf der Außenseite der Ankerkerne 305 und 307 vorgesehen, wodurch eine geschlossene magnetische Schaltung zur Verfügung gestellt wird, die durch eine gestrichelte Linie angedeutet ist. Daher zeigt der Synchronmotor gemäß diesem Beispiel dieselbe Leistung wie jeder der voranstehend — geschilderten Synchronmotoren mit mehreren Wicklungen. Da die Entfernung über den Anker durch die geteilten Anker verkürzt werden kann, kann der Synchronmotor gemäß diesem Beispiel bei Maschinen eingesetzt werden, die einen schlankeren Motor erfordern.

Unter Bezug auf Fig. 29 erfolgt eine Beschreibung eines Beispiels, bei welchem die vorliegende Erfindung bei einem Linearmotor eingesetzt wird. Der Linearmotor 401 weist einen Anker 403 und eine Nadel 405 auf. Der Anker 403 ist ein Dreiphasenanker, der mit zwei Polen und vierundzwanzig Schlitzen versehen ist, wie in Fig. 12 gezeigt. Die Nadel 405 weist einen Magnetpol auf, der die in Fig. 8 gezeigte Segmentstruktur aufweist.

Der Anker 403 umfaßt einen Ankern Kern 407 und eine Feldwicklung 409 mit Spulen u, v und w, sowie eine Ankerwicklung 411 mit Spulen U, V und W. Der Ankern Kern 407 weist einen Kammabschnitt auf und ist doppellagig mit der Feldwicklung 409 und der Ankerwicklung 411 gewickelt. Die Nadel 405 umfaßt mehrere Magnetpole 413, die aus einem Magnetkörper wie beispielsweise Eisen bestehen, sowie eine Montageplatte 417, die aus einem nicht-magnetischen Körper wie beispielsweise Aluminium besteht. Die Magnetpole 413 sind auf der Montageplatte 417 so angebracht, daß dazwischen ein vorbestimmter Zwischenraum 415 verbleibt. Wenn den Wicklungen 409 und 411 der Dreiphasen-Wechselstrom zugeführt wird, wird eine horizontale Kraft zwischen dem Anker und der Nadel erzeugt. Daher bewegt sich die Nadel, wenn der Anker fixiert ist und bewegt sich der Anker, wenn die Nadel fixiert ist.

Zwar weist dieses Beispiel zwei Pole und vierundzwanzig Schlitze auf, jedoch ist dieses Beispiel nicht auf Fig. 29 beschränkt und kann auf unterschiedliche Weisen abgeändert werden.

Unter Bezug auf Fig. 30 werden die Grundlagen von Beispielen für einen Synchrongenerator gemäß der vorliegenden Erfindung erläutert. Der Generator weist einen Ankern Kern 501 sowie einen Rotor 507 auf. Der Ankern Kern 501 hat eine doppellagige Wicklung, nämlich eine Feldwicklung 503 und eine Ankerwicklung 505. Der Rotor 507 ist einfach in der Vertikalrichtung in der Figur zu magnetisieren und schwierig in der Horizontalrichtung in der Figur, da der Rotor eine Schenkelpolform aufweist. Die Wicklungen 503 und 505 sind Dreiphasenwicklungen, die jeweils mit zwei Polen versehen sind. Die Wicklungen 503 und 505 sind so angeordnet, daß die Phasendifferenz vorzugsweise 90° beträgt.

Wenn an die Feldwicklung 503 mit den Spulen u, v und w der Dreiphasenstrom angelegt wird, wird ein Feldmagnetfluß 509 erzeugt. Ein Feldwicklungsstrom wird so gesteuert, daß eine Magnetpol-Zentralachse 511 des Feldmagnetflusses 509 mit einer Achse einfacher Magnetisierung 513 des Rotors dauernd zusammenfällt. Die Dreiphasenspannung wird dadurch in die Ankerwicklung 505 mit Spulen u', v' und w' induziert, daß der Rotor gedreht wird, der ständig in einer konstanten Richtung magnetisiert ist. Auf diese Weise wird ein Generator zur Verfügung gestellt.

Eine Ausgangsspannung V und eine Ausgangsfrequenz f des Generators werden durch die nachstehenden Gleichungen (11) und (12) angegeben.

$$V = K_1 \cdot \Phi \cdot n(v) \quad (11)$$

$$f = K_2 \cdot n \cdot p(\text{HZ}) \quad (12)$$

Hierbei bezeichnen K_1 und K_2 Proportionalkonstanten, Φ bezeichnet einen Feldmagnetfluß (MAXWELL) und n bezeichnet eine Drehfrequenz pro Sekunde (U/sek). Wenn der Feldstrom I_f proportional zum Feldmagnetfluß Φ ist, so ergibt sich die nachstehend angegebene Gleichung (13).

$$\Phi = K_3 I_f (\text{MAXWELL}) \quad (13)$$

Wie voranstehend erläutert wird bei dem Synchrongenerator gemäß der vorliegenden Erfindung nicht unbedingt der Rotor mit einer Spule bewickelt oder ein Permanentmagnet auf dem Rotor befestigt. Dies führt dazu, daß durch die vorliegende Erfindung ein Synchrongenerator mit einem Rotor zur Verfügung gestellt werden kann, der außerordentlich einfach und stabil ist.

Fig. 31 zeigt ein Blockschaltbild einer Steuerung zum Steuern der Ausgangsspannung auf einen konstanten Wert, gegen die Lastschwankungen, in dem Synchrongenerator gemäß der vorliegenden Erfindung.

In Fig. 31 weist die Steuerung einen Synchrongenerator 521 sowie eine Steuerschaltung auf, um unabhängig von Lastschwankungen eine Ausgangsspannung konstant zu halten.

Der Synchrongenerator 521 umfaßt einen Rotor 523 und eine Ankerwicklung 505. Der Rotor 523 ist an einen Antriebsmotor 525 angeschlossen, beispielsweise eine Turbine, eine Brennkraftmaschine, oder eine hydraulische Turbine, und dreht sich mit konstanter Geschwindigkeit. Die Ankerwicklung 505 ist an die Last 527 angeschlossen. Der Rotor 523 ist mit einem Magnetpol-Positionsdetektor 531 versehen, beispielsweise einem Drehkodierer, um ein Magnetpol-Positionssignal S51 zu erzeugen. Der Anker 505 weist eine Potentialmeßvorrichtung 535 auf, um die Ausgangsspannung zu ermitteln und um ein Ausgangsspannungssignal S52 zu erzeugen.

Die Steuerschaltung weist einen Ankerspannungsverstärker 537 auf, einen Feldstromverstärker 539, einen Invertierer 543, einen Feldstromphasen-Steuerverstärker 541 und einen Feldstromdetektor 542. Der Ankerspannungsverstärker 537 wird mit einem Spannungsbefehlssignal S53 für die gewünschte Spannung und gleichzeitig mit dem Ausgangsspannungssignal S52 versorgt. An den Feldstromverstärker 539 wird ein Stromstrom-Befehlssignal S55 von dem Ankerspannungsverstärker 537 geliefert und ebenso ein Feldstromsignal S57, welches von dem Feldstromdetektor 542 ermittelt wird.

Dem Feldstromphasen-Steuerverstärker 541 wird ein Feldstromwert-Befehlssignal S59 zugeführt, welches von dem Feldstromverstärker 539 erzeugt wird, sowie ein Magnetpol-Positionssignal S51. Dem Wechselrichter 543 wird ein Wechselrichtersteuersignal S61 vom Feldstromphasen-Steuerverstärker 541 zugeführt.

Wenn die Last nicht an den Synchrongenerator angeschlossen ist, dieser also unbelastet läuft, ist die induzierte Spannung gleich der Ausgangsspannung. Ist die Last an den Synchrongenerator angeschlossen, so fließt ein Strom durch die Ankerwicklung (U, V, W) und durch die Impedanz der Ankerwicklung wird ein Spannungsabfall hervorgerufen, welcher die Ausgangsspannung verringert. Daher wird der Ankerspannungsverstärker 537 mit dem Ausgangsspannungssignal S52 von dem Potentialmeßinstrument 535 versorgt, um die Ausgangsspannung dadurch konstant zu halten, daß der Spannungsabfall kompensiert wird. Der Ankerspannungsverstärker 537 verstärkt die Abweichung zwischen dem Spannungsbefehlssignal S53 und dem Ausgangsspannungssignal S52, um den Feldstromverstärker 539 mit dem Feldstrombefehlssignal S55 zu versorgen. Der Feldstromverstärker 539 verstärkt die Abweichung zwischen dem Feldstrombefehlssignal S55 und dem Feldstromsignal S57, um das Feldstromwert-Befehlssignal S59 dem Feldstromphasen-Steuerverstärker 541 zuzuführen. Entsprechend dem Feldpositionssignal S51 und dem Feldstromwert-Befehlssignal S59 erzeugt der Feldstromphasen-Steuerverstärker 541 ein Wechselrichtersteuersignal S61, um so korrekt den Feldstrom der Feldwicklung zuzuführen, selbst wenn sich der Rotor an einem anderen Ort befindet. Der Wechselrichter 543 erzeugt den Feldstrom entsprechend dem Wechselrichtersteuersignal S61 und steuert den Wert des Feldstroms. Daher ist selbst bei schwankender Belastung die Ausgangsspannung konstant.

Wie voranstehend erläutert wird gemäß der zweiten Ausführungsform eine Synchronmaschine zur Verfügung gestellt, deren Rotor einen einfachen und stabilen Aufbau aufweist, da der Rotor nicht notwendigerweise mit einem Permanentmagneten versehen oder mit Spulen bewickelt ist. Bei hohen Drehzahlen wird der Rotor infolge seines stabilen Aufbaus nicht beschädigt.

Patentansprüche

1. Synchronmotorvorrichtung, gekennzeichnet durch:
 - einen Stator, der in doppellagiger Wicklungsweise mit einer ersten Wicklung und einer zweiten Wicklung bewickelt ist;
 - einen Rotor, der eine Schenkelpolform aufweist und drehbar in dem Stator aufgenommen ist;
 - eine erste Steuerung, die als Energiequelle für die erste Wicklung dient und die Drehfrequenz des Motors steuert; und
 - eine zweite Steuerung, die als Energiequelle dient und die Ausgangsleistung oder den Drehmomentwert des Motors steuert.
2. Synchronmotorvorrichtung, gekennzeichnet durch:
 - einen Stator, der in doppellagiger Wicklungsweise mit einer ersten Wicklung und einer zweiten Wicklung versehen ist;
 - einen Rotor, der im wesentlichen aus magnetisch anisotropen Materialien besteht, um die Schenkelform zur Verfügung zu stellen, und der drehbar in dem Stator aufgenommen ist;
 - eine erste Steuerung, die als Energiequelle für die erste Wicklung dient und die Drehfrequenz des Motors steuert; und
 - eine zweite Steuerung, die als Energiequelle für die zweite Wicklung dient und die Ausgangsleistung oder den Drehmomentwert des Motors steuert.
3. Synchronmotorvorrichtung, gekennzeichnet durch:
 - einen Stator, der in doppellagiger Wicklungsweise mit einer ersten Wicklung und einer zweiten Wicklung versehen ist;
 - einen Rotor, der mit einem Permanentmagnetteil versehen ist, um einen Feldmagnetfluß zu erzeugen und der drehbar in dem Stator aufgenommen ist;
 - eine erste Steuerung, die als Energiequelle für die erste Wicklung dient und die Drehfrequenz des Motors steuert; und eine zweite Steuerung, die als Energiequelle für die zweite Wicklung dient und die Ausgangsleistung oder den Drehmomentwert des Motors steuert.
4. Synchronmotorvorrichtung, gekennzeichnet durch:
 - einen Stator, der in doppellagiger Wicklungsweise mit einer ersten Wicklung und einer zweiten Wicklung versehen ist;
 - einen Rotor, der mit zumindest einer Spule bewickelt ist, die mit Strom versorgt wird und der drehbar in dem Stator aufgenommen ist;
 - eine erste Steuerung, die als Energiequelle der ersten Wicklung dient und die Drehfrequenz des Motors steuert; und
 - eine zweite Steuerung, die als Energiequelle für die zweite Wicklung dient und die Ausgangsleistung oder den Drehmomentwert des Motors steuert.
5. Synchronmotorvorrichtung, gekennzeichnet durch:
 - einen Stator, der in doppellagiger Wicklungsweise mit einer ersten Wicklung und einer zweiten Wicklung versehen ist;
 - einen Rotor, der aus magnetisch anisotropem Material besteht und drehbar in dem Stator aufgenommen ist;
 - eine erste Steuerung, die als Energiequelle für die erste Wicklung dient und die Drehfrequenz des Motors steuert; und
 - eine zweite Steuerung, die als Energiequelle für die zweite Wicklung dient und die Ausgangsleistung oder den Drehmomentwert des Motors steuert.
6. Synchronmotorvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite

Steuerung eine Phasendifferenz zwischen dem Strom der ersten Wicklung und dem Strom der zweiten Wicklung in einem Winkel von 90° hält, und weiterhin eine Schaltung zum Steuern der Größe der Verstärkung des Stroms umfaßt, welcher der ersten Wicklung zugeführt wird.

7. Synchronmotorvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Steuerung eine Drehfrequenz-Befehlsvorrichtung aufweist, um ein Strombefehlssignal zur Vorgabe der Drehfrequenz des Motors zu erzeugen, eine erste Wicklungsstrom-Festlegungsschaltung zum Vergleichen der vorgegebenen Drehfrequenz mit gemessenen Drehfrequenzdaten des Motors, um zwischen diesen Werten eine Differenz zu erzeugen, und um ein erstes Strombefehlssignal für die erste Wicklung festzulegen und zu erzeugen, sowie eine erste Wicklungsstrom-Versorgungsschaltung zur Zufuhr eines ersten vorbestimmten Stroms zur ersten Wicklung entsprechend dem ersten Strombefehlssignal, ersten Stromwertdaten der ersten Wicklung, und Positionsdaten des Rotors, wobei die zweite Steuerung eine Ausgangsbefehlseinrichtung zur Vorgabe eines vorgegebenen Ausgangsleistungswertes des Motors aufweist, eine Ausgangs-Arithmetikschaltung zur Berechnung eines berechneten Ausgangsleistungswertes des Motors entsprechend Stromdaten, welche den ersten und zweiten Wicklungen zugeführt werden, Drehfrequenzdaten des Motors und Positionsdaten des Rotors, eine zweite Wicklungsfestlegungsschaltung zum Vergleichen des berechneten Ausgangsleistungswertes mit dem vorgegebenen Ausgangsleistungswert, um dazwischen eine Differenz zu erzeugen, und um ein zweites Strombefehlssignal für die zweite Wicklung entsprechend der Differenz zu erzeugen, sowie eine zweite Wicklungsstromversorgungsschaltung zur Zufuhr eines zweiten vorbestimmten Stroms zur zweiten Wicklung entsprechend dem zweiten Strombefehlssignal von der zweiten Wicklungsfestlegungsschaltung, den zweiten Stromwertdaten der zweiten Wicklung, und den Positionsdaten des Rotors.

8. Synchronmaschine, gekennzeichnet durch:

einen Anker, der mit einem Kern versehen ist, der eine Feldwicklung aufweist, um einen Feldmagnetfluß zu erzeugen, sowie mit einer Ankerwicklung, die in der elektrischen Phase der Feldwicklung im wesentlichen um einen Winkel von 90° voreilt; und

einen Rotor, der drehbar in dem Anker aufgenommen ist und in einer vorbestimmten Richtung durch den Feldmagnetfluß magnetisiert wird.

9. Synchronmaschine, gekennzeichnet durch:

einen Anker, dessen Kern mit einer Feldwicklung und einer Ankerwicklung bewickelt ist, wobei die Feldwicklung drei Paare von drei Phasenwicklungen aufweist, die gegeneinander um jeweils einen Phasenwinkel von 120° verschoben sind und einen Feldmagnetfluß erzeugen, wobei die Ankerwicklungen drei Paare von drei Phasenwicklungen aufweisen, die aufeinanderfolgend jeweils um einen Phasenwinkel von 120° verschoben sind, und den Feldwicklungen im wesentlichen um einen Winkel von 90° voreilen; und einen Rotor, der drehbar in dem Anker aufgenommen ist und in einer vorbestimmten Richtung durch den Feldmagnetfluß magnetisiert wird.

10. Synchronmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Ankerwicklung in der elektrischen Phase der Feldwicklung im wesentlichen um einen Winkel von 90° voreilt.

11. Synchronmaschine nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor ein magnetisch anisotroper Rotor ist.

12. Synchronmaschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der magnetisch anisotrope Rotor einen magnetisch anisotropen Magnetkörper aufweist, der eine vorbestimmte Form hat.

13. Synchronmaschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der magnetisch anisotrope Magnetkörper ein Teil aufweist, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus kornorientiertem Siliziumstahl und kornorientiertem Nickelstahl besteht.

14. Synchronmaschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der magnetisch anisotrope Magnetkörper die Form eines Schenkelpols aufweist.

15. Synchronmaschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der magnetisch anisotrope Magnetkörper einen Magnetkörperabschnitt auf einer Außenseite und einen nicht-magnetischen Körperabschnitt in einer Innenseite aufweist, wobei der magnetische Körper mit einem Luftspalt in Schlitzform oder einem nicht-magnetischen Teil in einer vorbestimmten Durchmesserrichtung versehen ist.

16. Synchronmaschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der magnetisch anisotrope Magnetkörper ein Magnetteil aufweist, welches mit einem Luftspalt in Schlitzform oder einem nicht-magnetischen Teil in einer vorbestimmten Durchmesserrichtung versehen ist.

17. Synchronmaschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der magnetisch anisotrope Magnetkörper die Form eines Schenkelpols mit vier Polen aufweist.

18. Synchronmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor einstückig mit einer Lastachse einer Maschine oder eines Werkzeugs verbunden ist.

19. Synchronmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Feldwicklung und die Ankerwicklung mit zwei Paaren von drei Phasenströmen versorgt werden, die gegeneinander um einen elektrischen Phasenwinkel von 90° verschoben sind, wobei die Synchronmaschine weiterhin eine Steuereinrichtung zum Steuern des Drehmoments, der Drehfrequenz und des Drehwinkels aufweist, und die Leistung des Motors durch Steuern der Frequenz und des Stroms der drei Phasenströme verschiebt.

20. Synchronmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Feldwicklung und die Ankerwicklung mit zwei Paaren von drei Phasenströmen versorgt werden, die gegeneinander um einen vorbestimmten Phasenwinkel verschoben sind, und daß die Synchronmaschine weiterhin eine Steuereinrichtung aufweist, um das Drehmoment, die Drehfrequenz und den Drehwinkel zu steuern, und die Leistungsabgabe des Motors durch Steuern der Frequenz und des Stroms der drei Phasenströme verschiebt.

21. Synchronmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß weiterhin eine Steuereinrichtung

zum optimalen Steuern von zwei Paaren von drei Phasenströmen vorgesehen ist, die dem Anker zugeführt werden, um die Verluste des Motors auf ein Minimum in einem Fall einer vorbestimmten Drehung und einer vorbestimmten Belastung zu reduzieren.

22. Synchronmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Ankerwicklung an eine Dreiphasen-Energiequelle angeschlossen ist, so daß sie nahe an der synchronen Drehung durch ein von einem induzierten Strom hervorgerufenes Drehmoment gedreht wird, während die Feldwicklung von einer Dreiphasen-Energiequelle über einen Kondensator oder ein Reaktionsglied versorgt wird, wobei die Synchronmaschine weiterhin eine Synchronisierschaltung aufweist, um den Rotor mit einem Feldmagnetpol dadurch zu versorgen, daß dem Rotor ein Strom zugeführt wird, der um einen vorbestimmten elektrischen Phasenwinkel verschoben ist, um den Motor zu synchronisieren.

23. Synchronmotor nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor dadurch mit einem Feldmagnetpol versehen wird, daß der Strom um einen elektrischen Phasenwinkel von 90° verschoben wird.

24. Synchronmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor mit einem Permanentmagnetteil versehen ist, um einen Feldmagnetpol als Summe eines magnetischen Flusses, der von dem Permanentmagnet erzeugt wird und eines magnetischen Flusses, der von einem Feldstrom erzeugt wird, zu erzeugen.

25. Synchronmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker so ausgebildet ist, daß er in zwei oder mehr Teile unterteilt ist, um einen Stator zusammenzubauen, nachdem der Rotor auf einer Maschine angebracht ist.

26. Synchronmaschine nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor einstückig mit einer Welle einer Maschine ausgebildet ist.

27. Synchronmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern in einer Axialrichtung zweigeteilt ist, und daß einer der Kernteile mit der Feldwicklung bewickelt ist und der andere Kernteil mit der Ankerwicklung bewickelt ist.

28. Synchronmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Synchronmaschine für einen Linearmotor verwendet wird, daß der Anker als ein Linearanker ausgebildet ist, und daß der Stator eine Nadel aufweist, die mit mehreren Magnetpolen versehen ist, die in einer Axialrichtung angeordnet sind.

29. Synchronmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Synchronmaschine als ein Synchrongenerator arbeitet.

Hierzu 26 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1

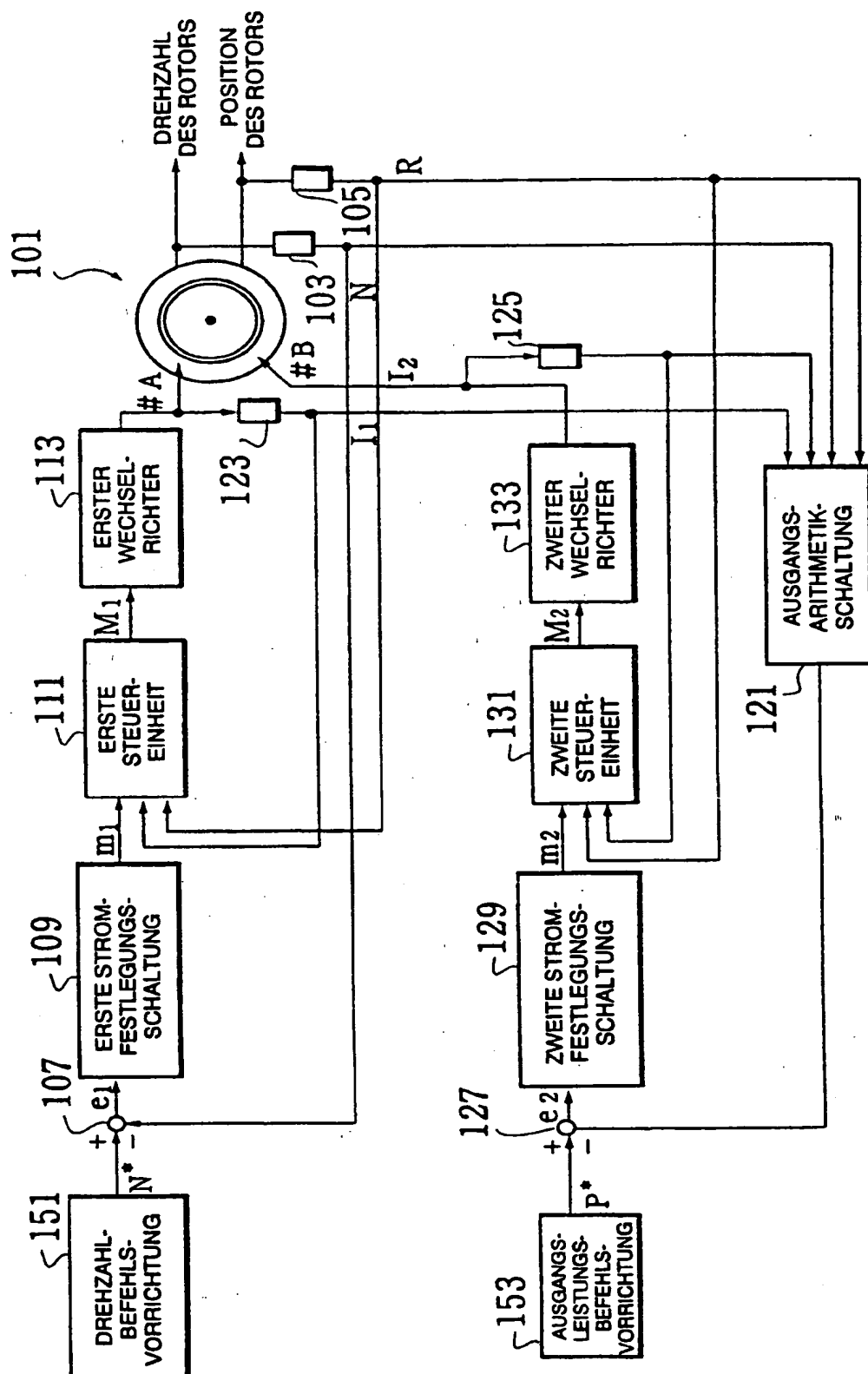


FIG. 2A

STAND DER TECHNIK

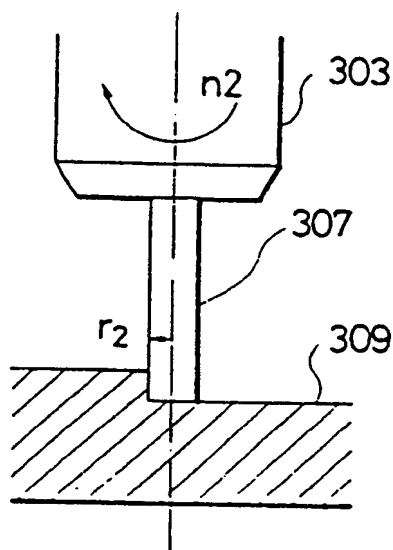


FIG. 2B

STAND DER TECHNIK

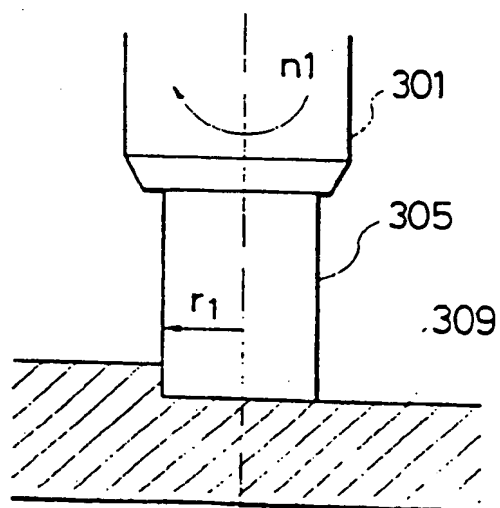


FIG. 3
STAND DER TECHNIK

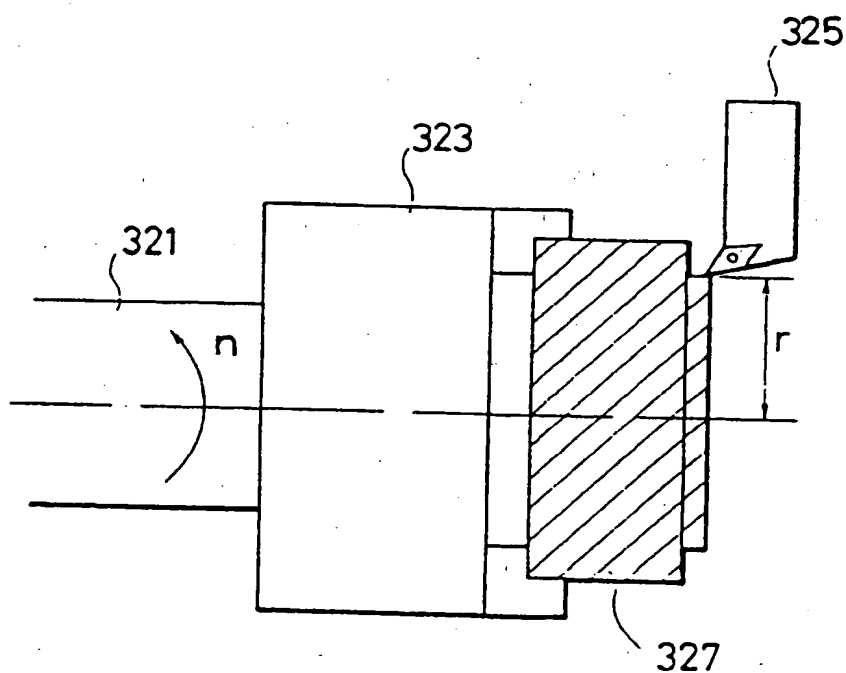


FIG. 4

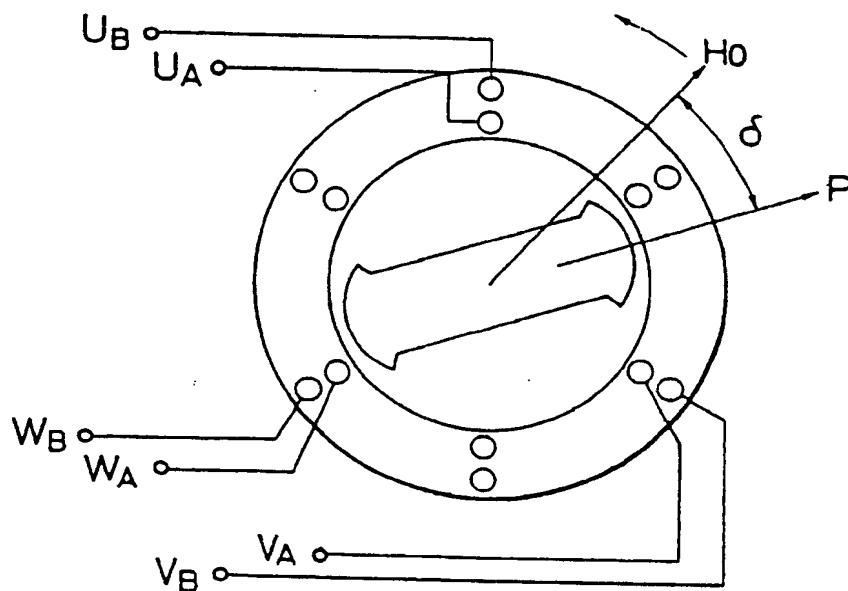


FIG. 5

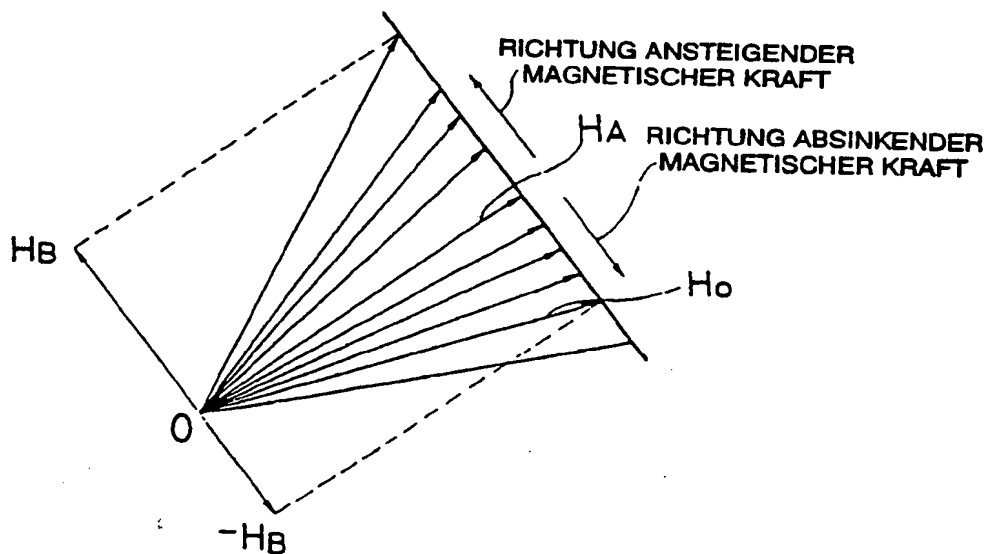


FIG. 6

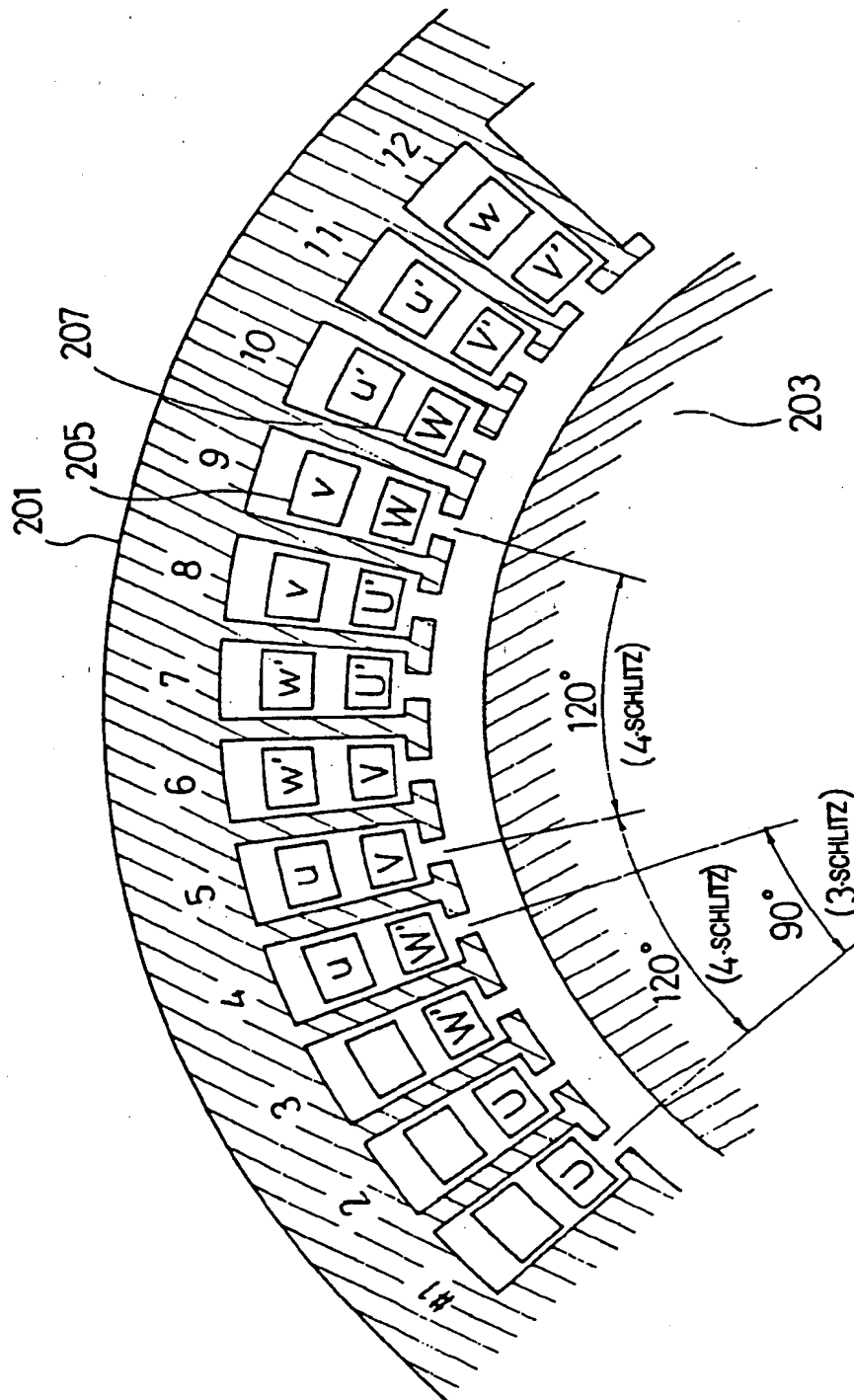
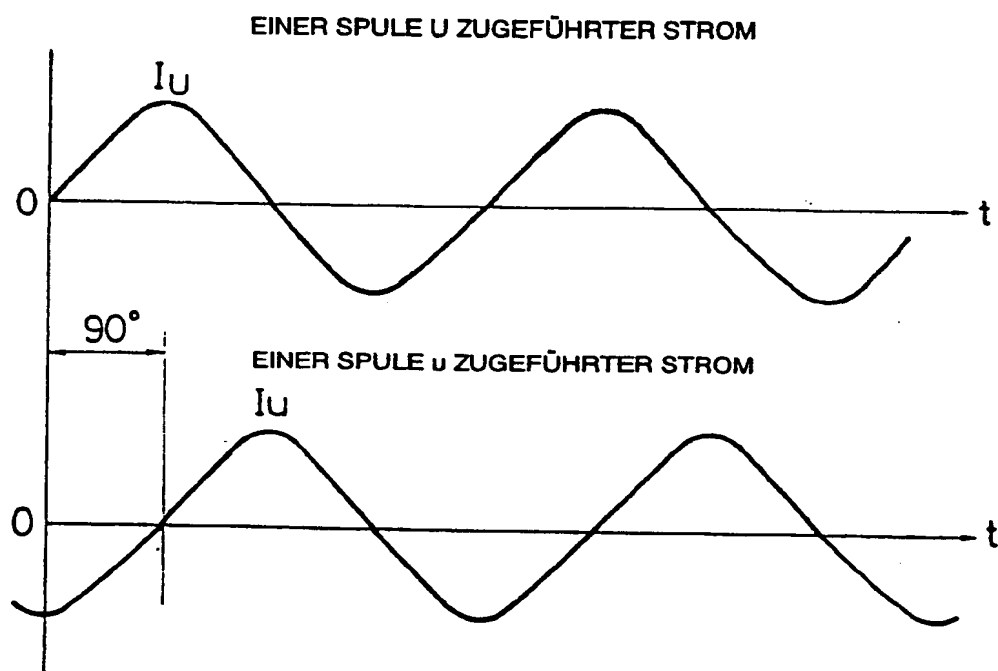


FIG. 7



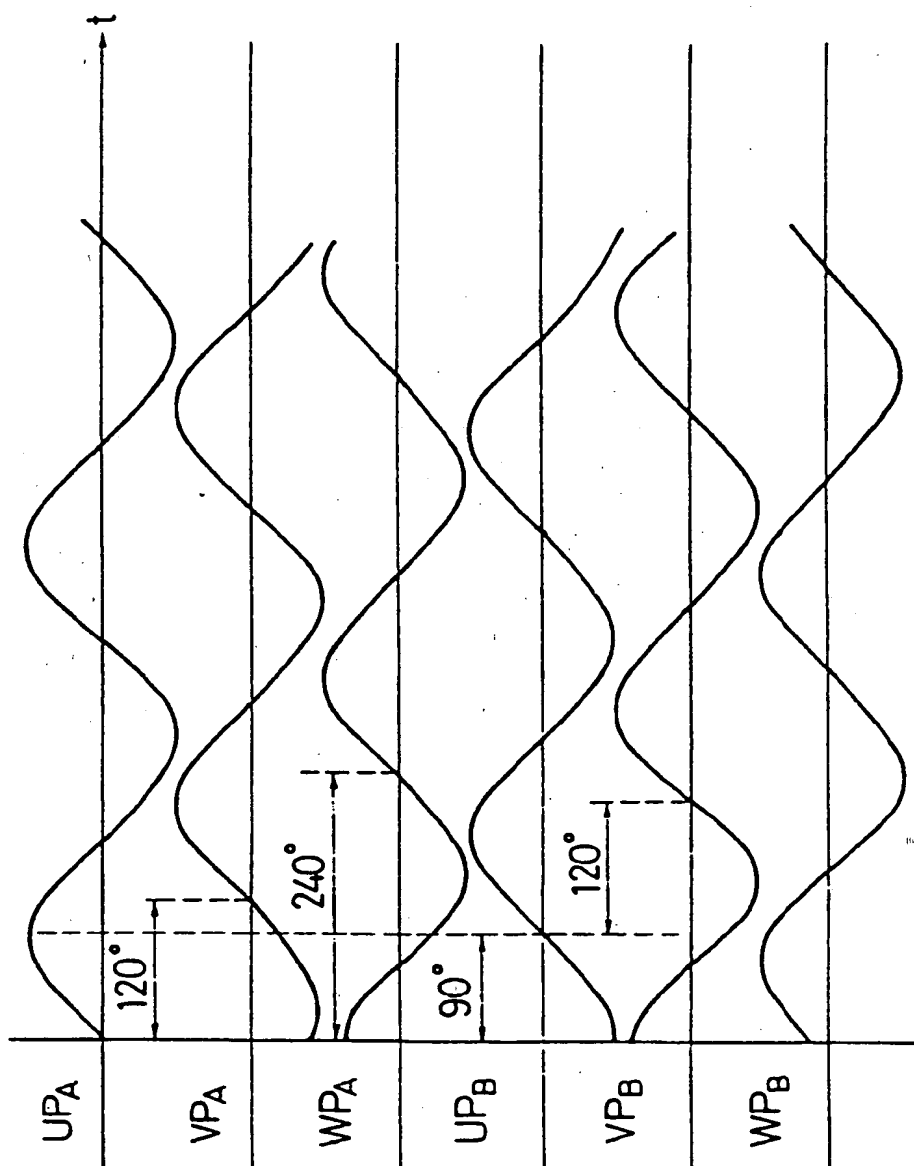


FIG. 8

FIG. 9

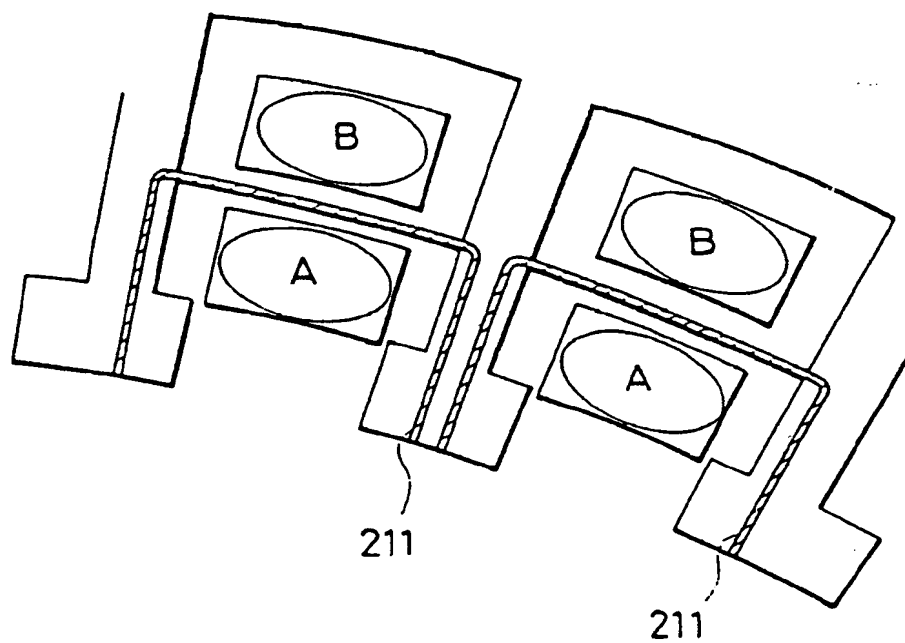


FIG. 10

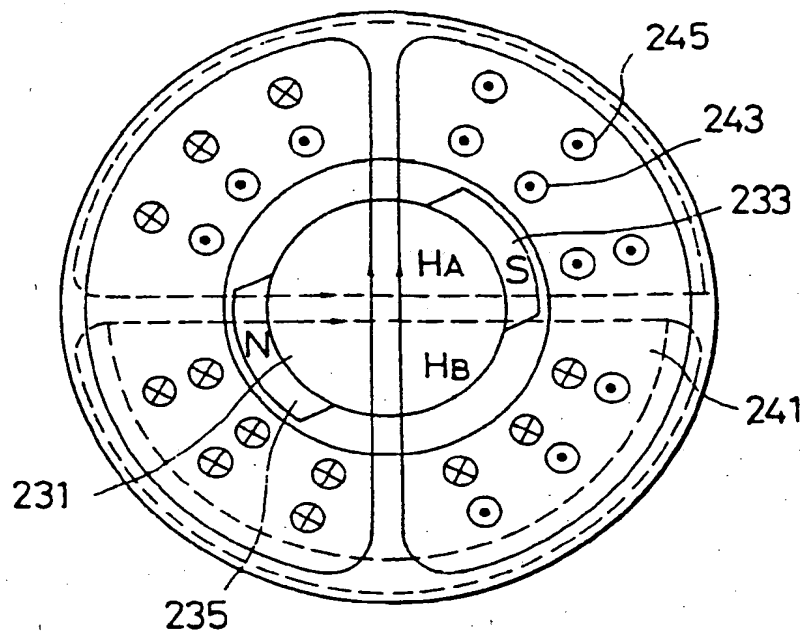


FIG. 11

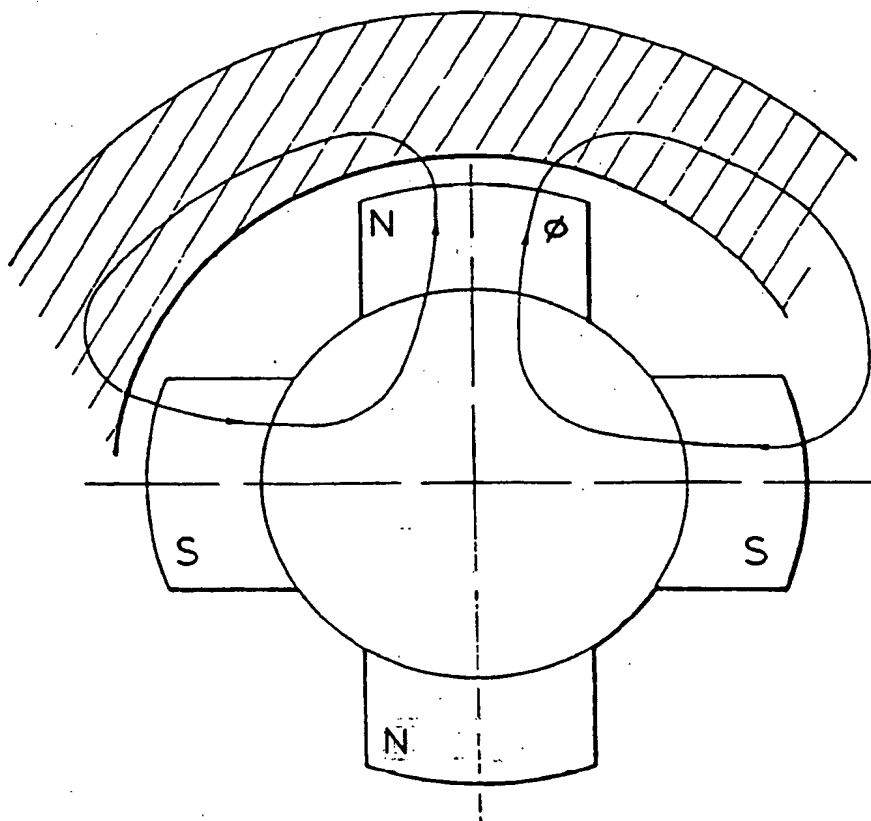


FIG. 12

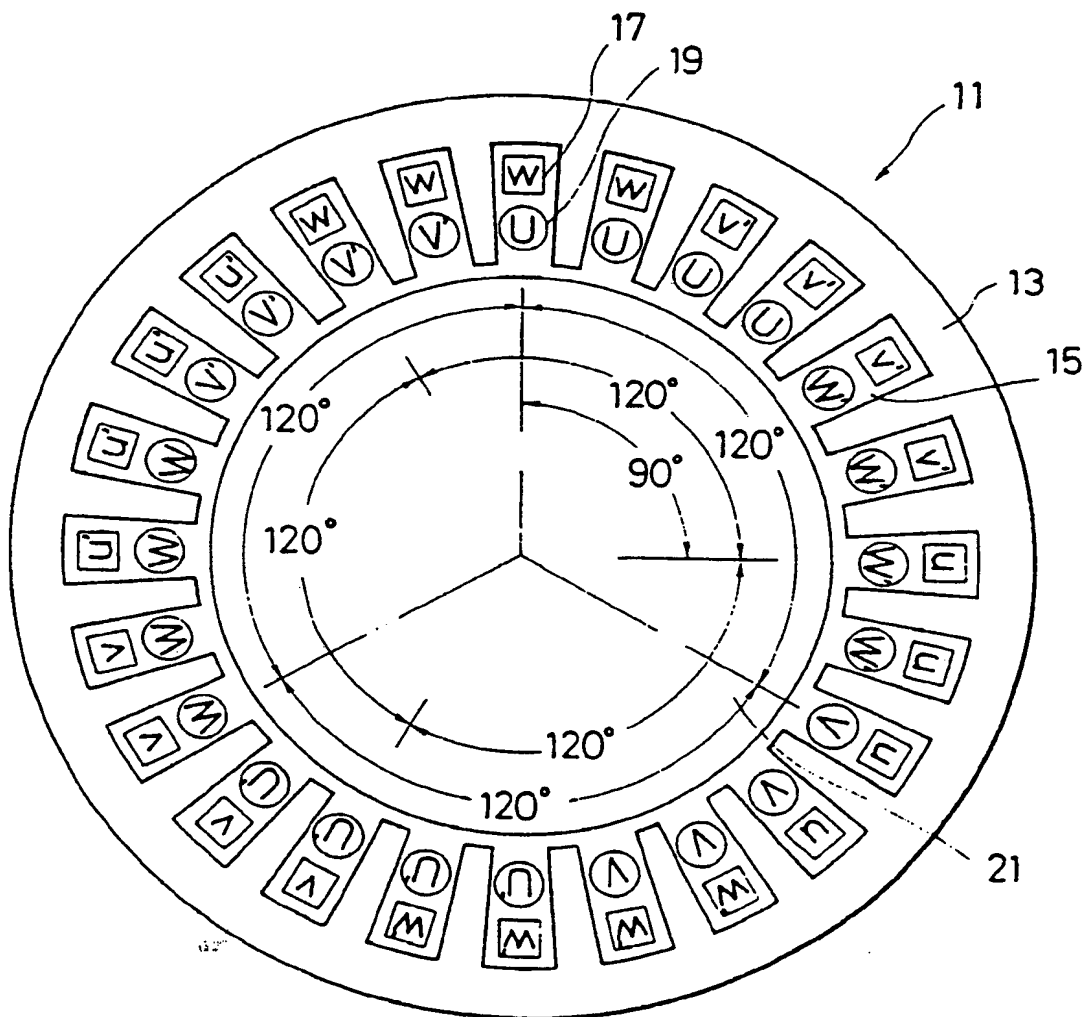


FIG. 13

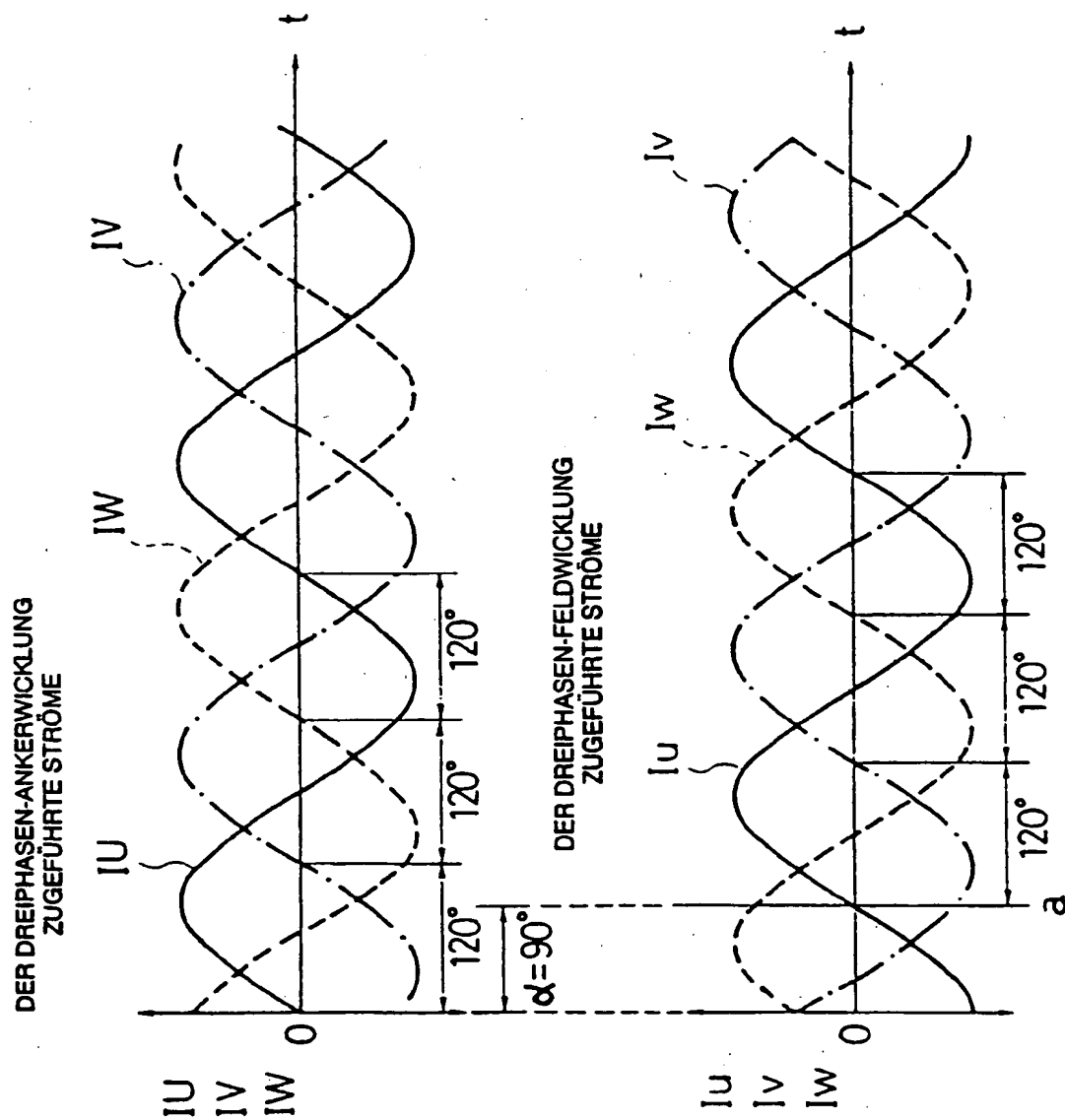


FIG. 14

ZENTRUM DES MAGNETFLUSSES
(ZENTRUM DER MAGNETISCHEN KRAFT)

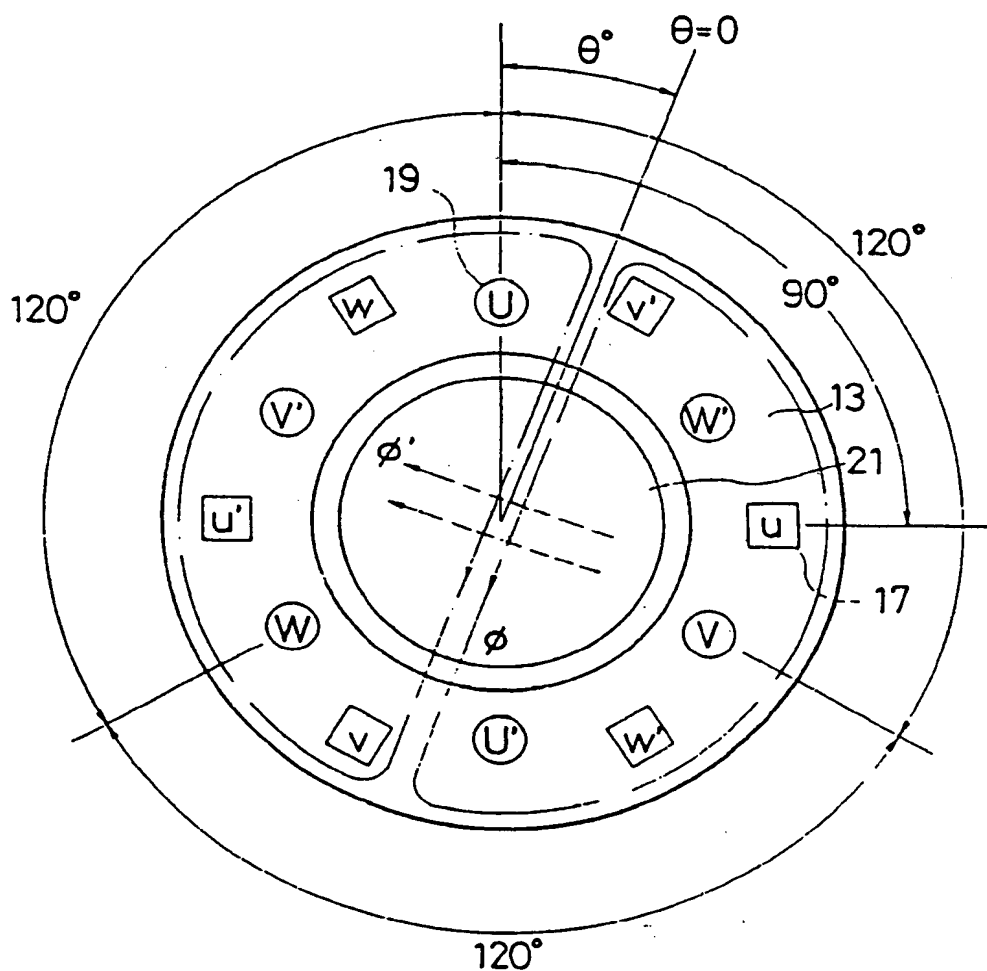


FIG. 15

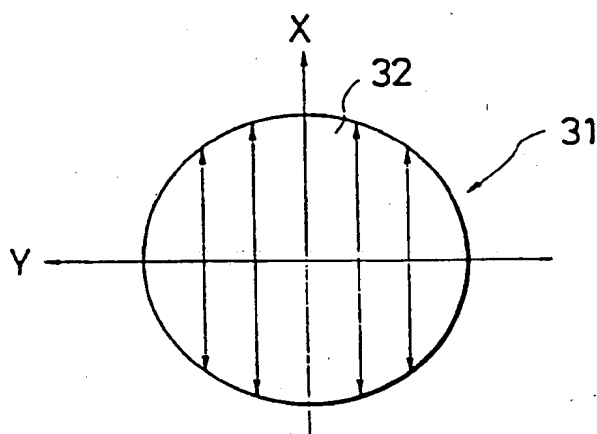


FIG. 16

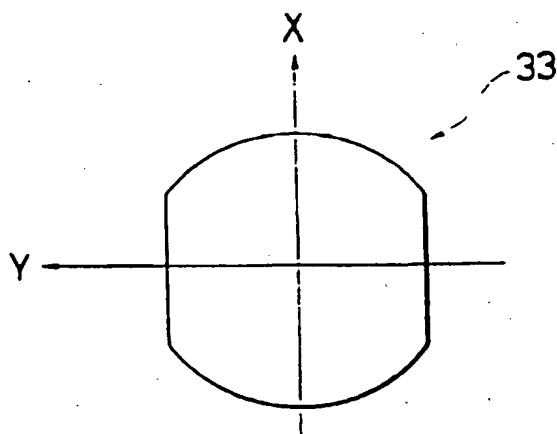


FIG. 17

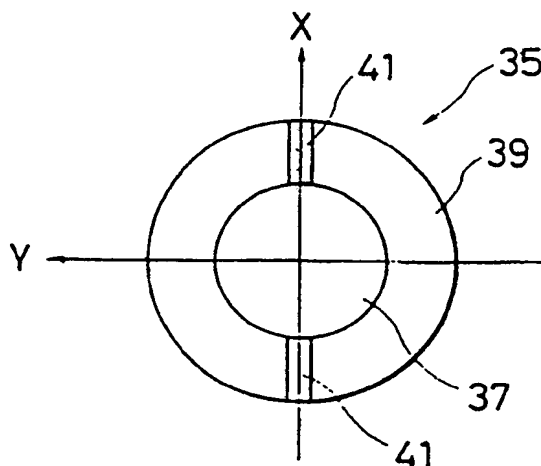


FIG. 18

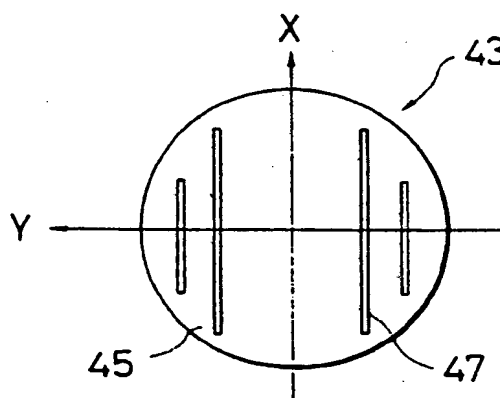


FIG. 19

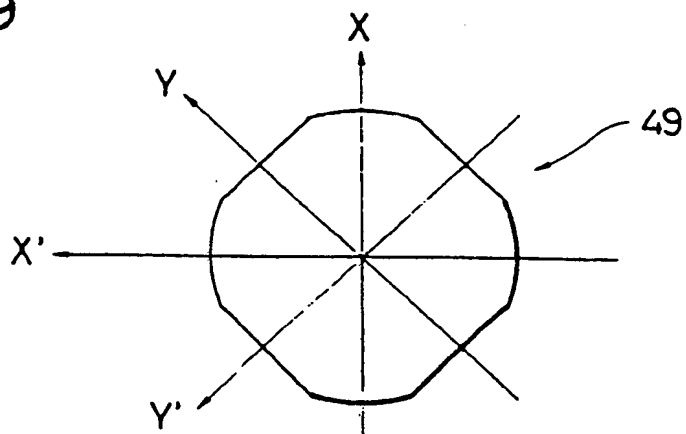


FIG. 20

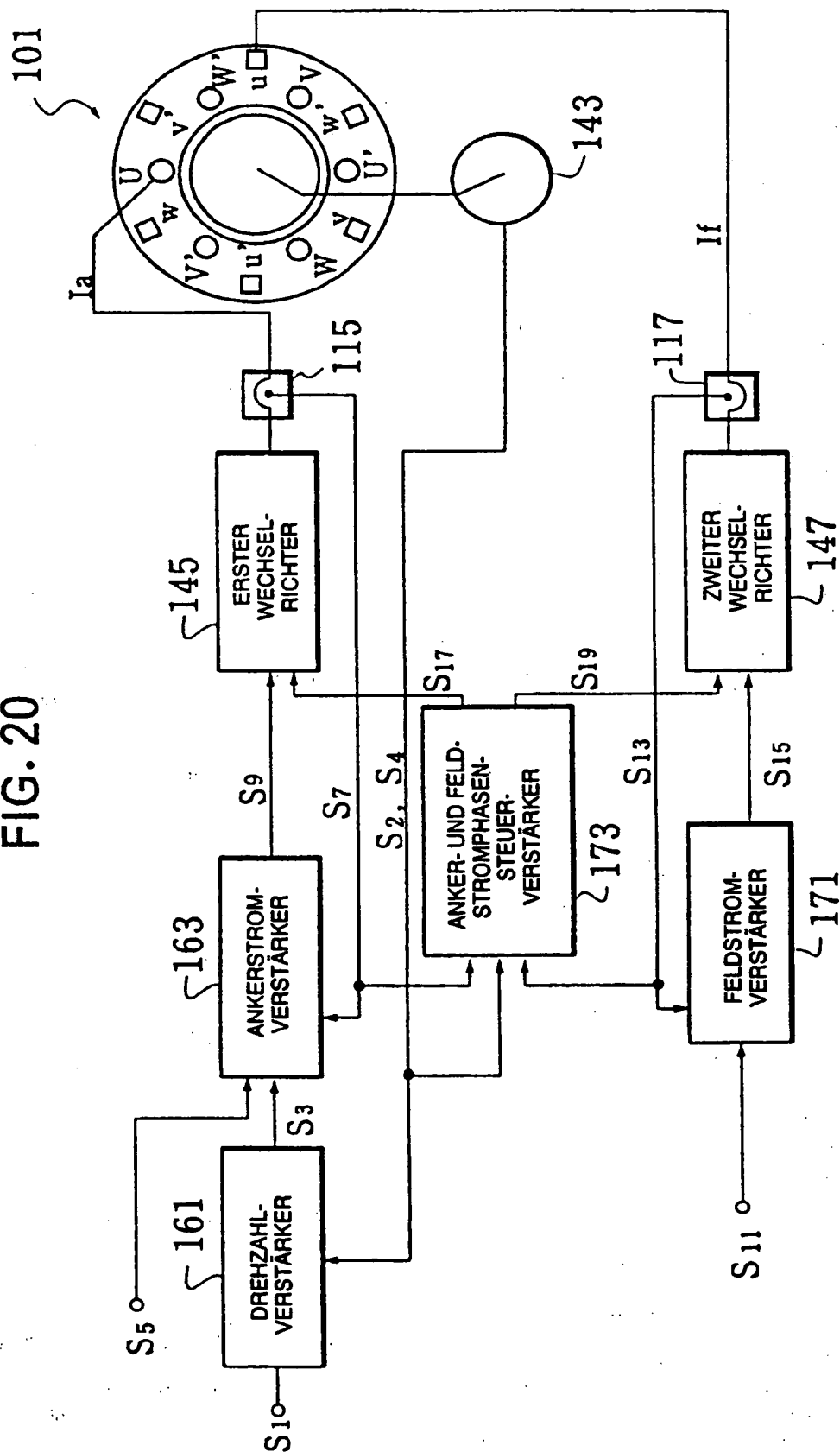
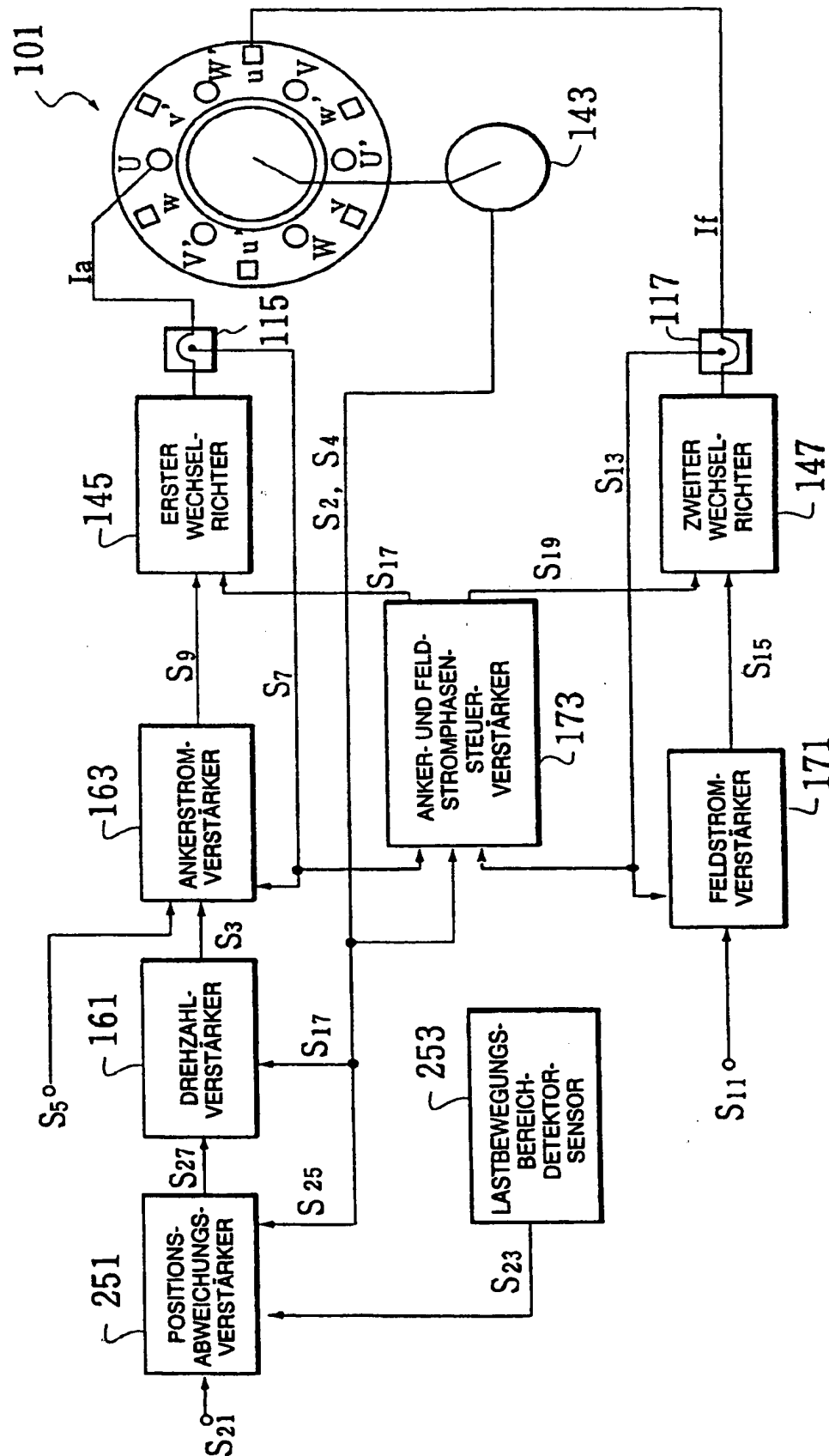


FIG. 21



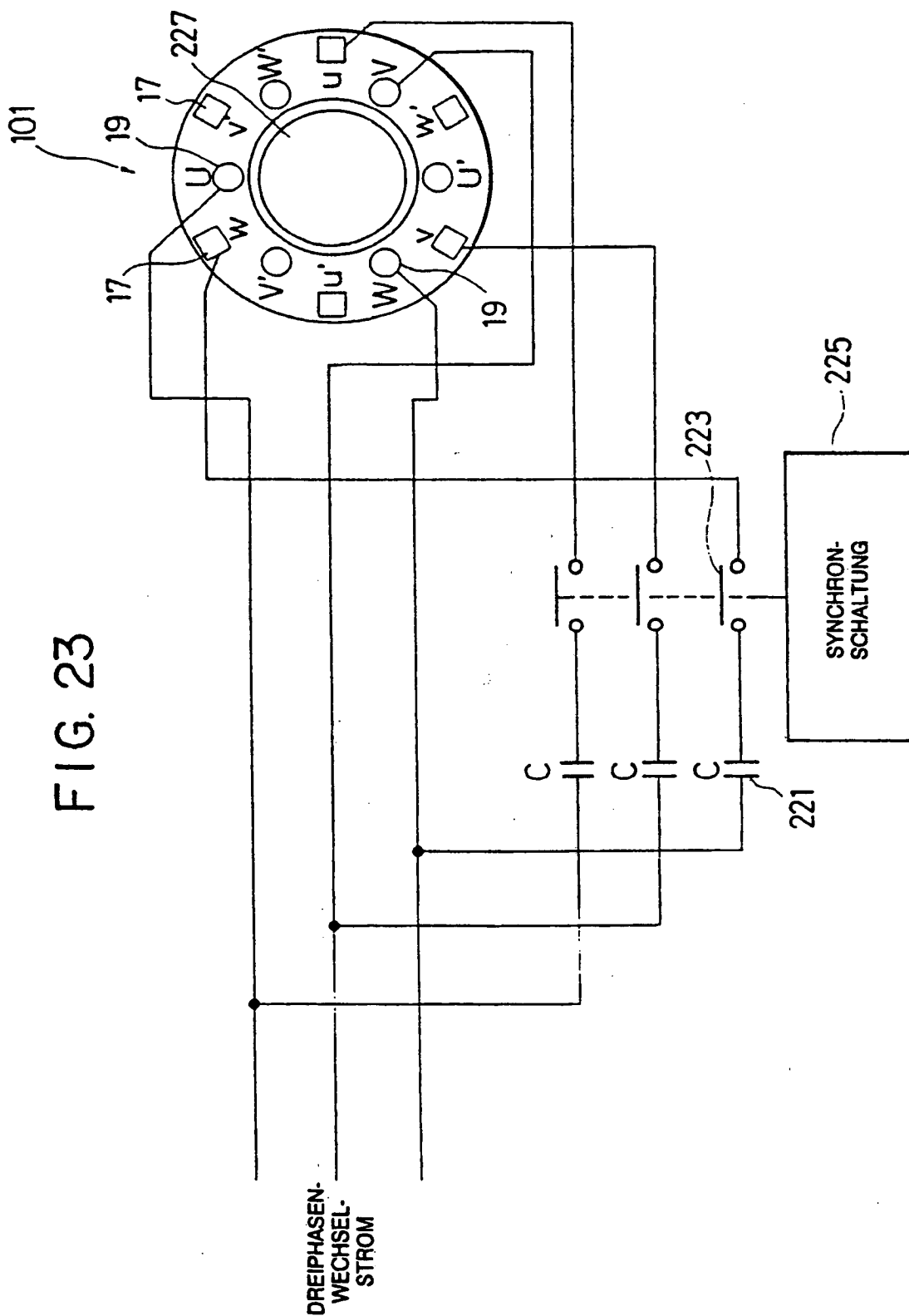


FIG. 24

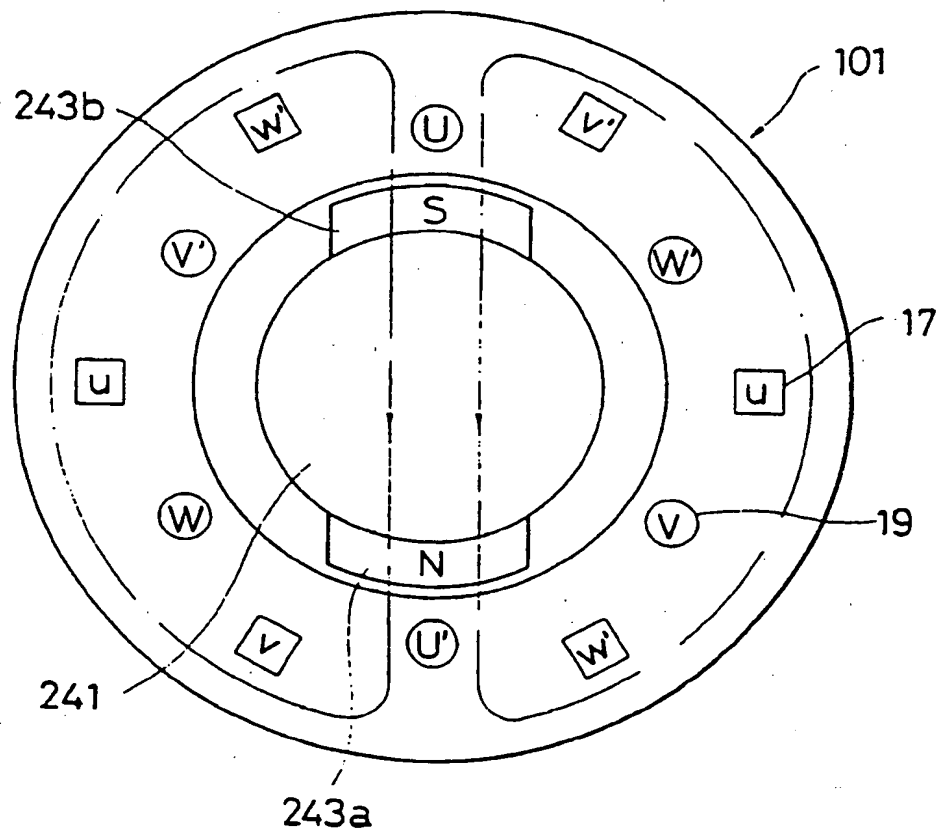


FIG. 25A

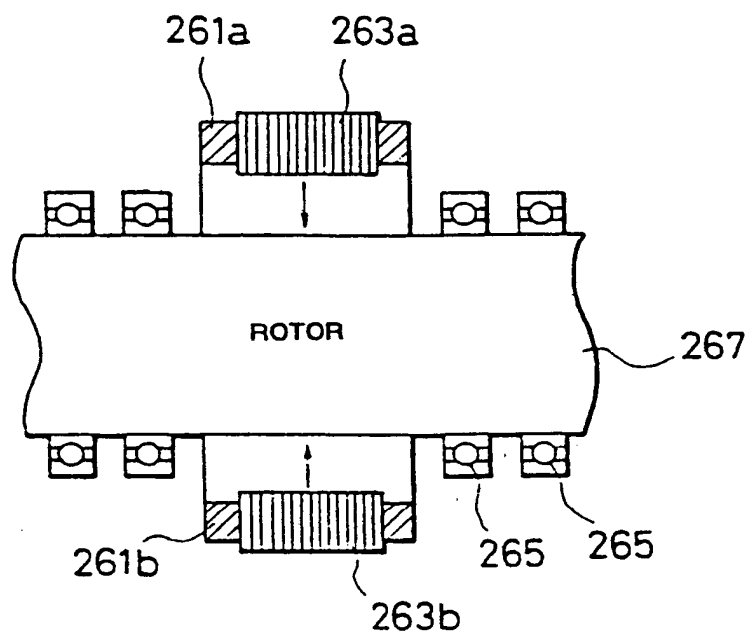


FIG. 25B

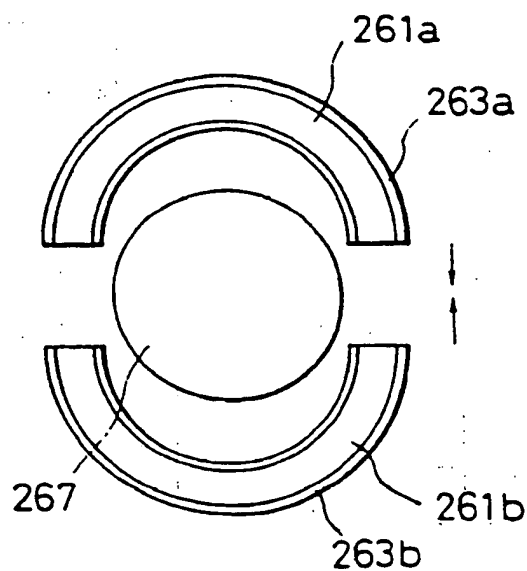


FIG. 26

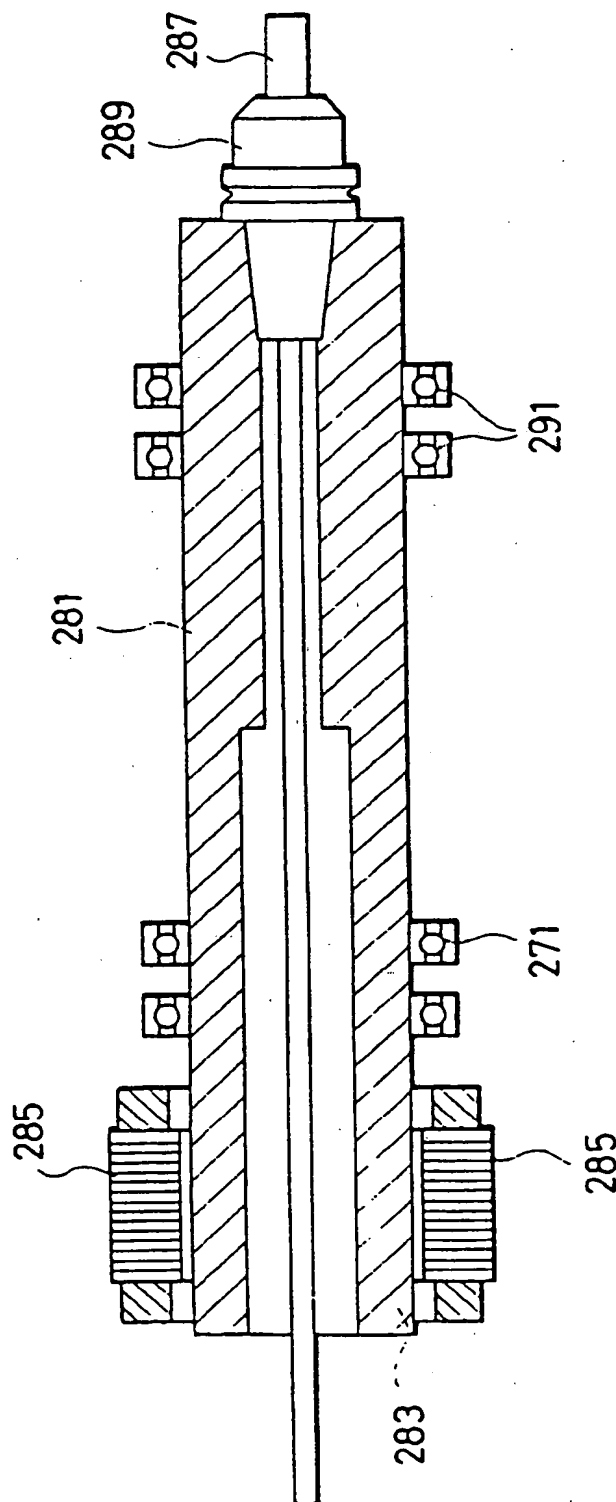
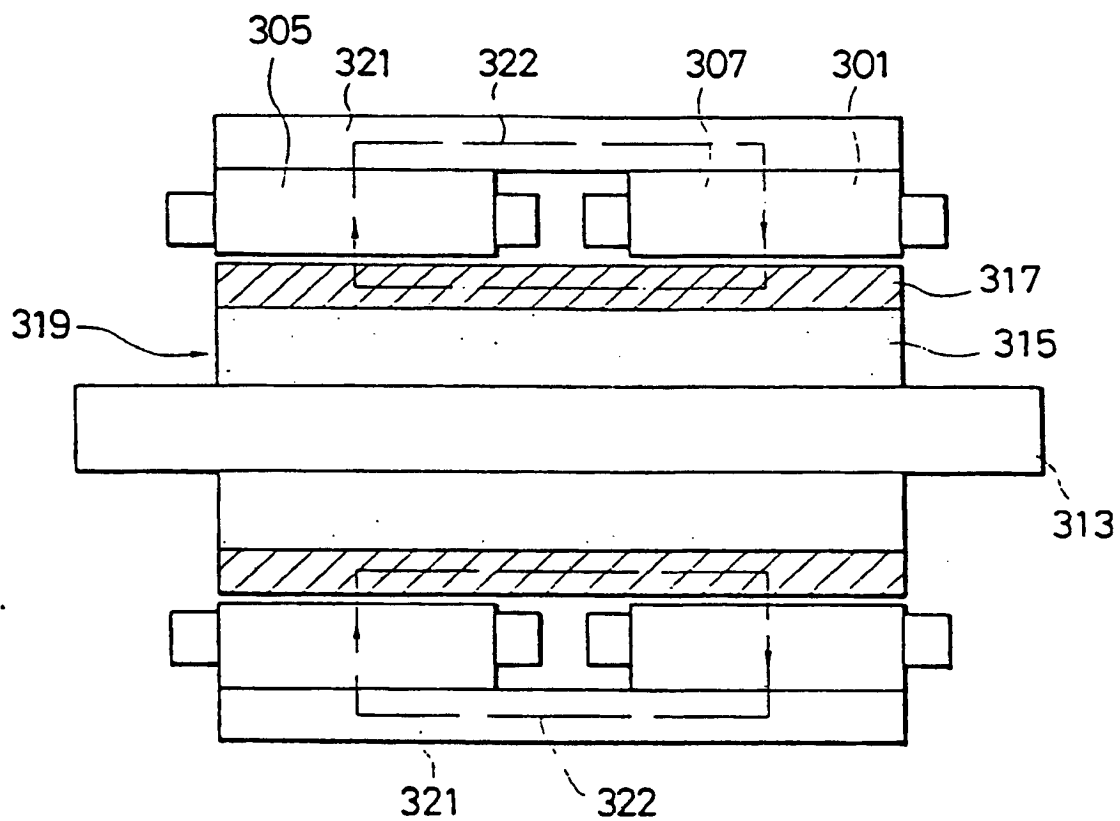


FIG. 27



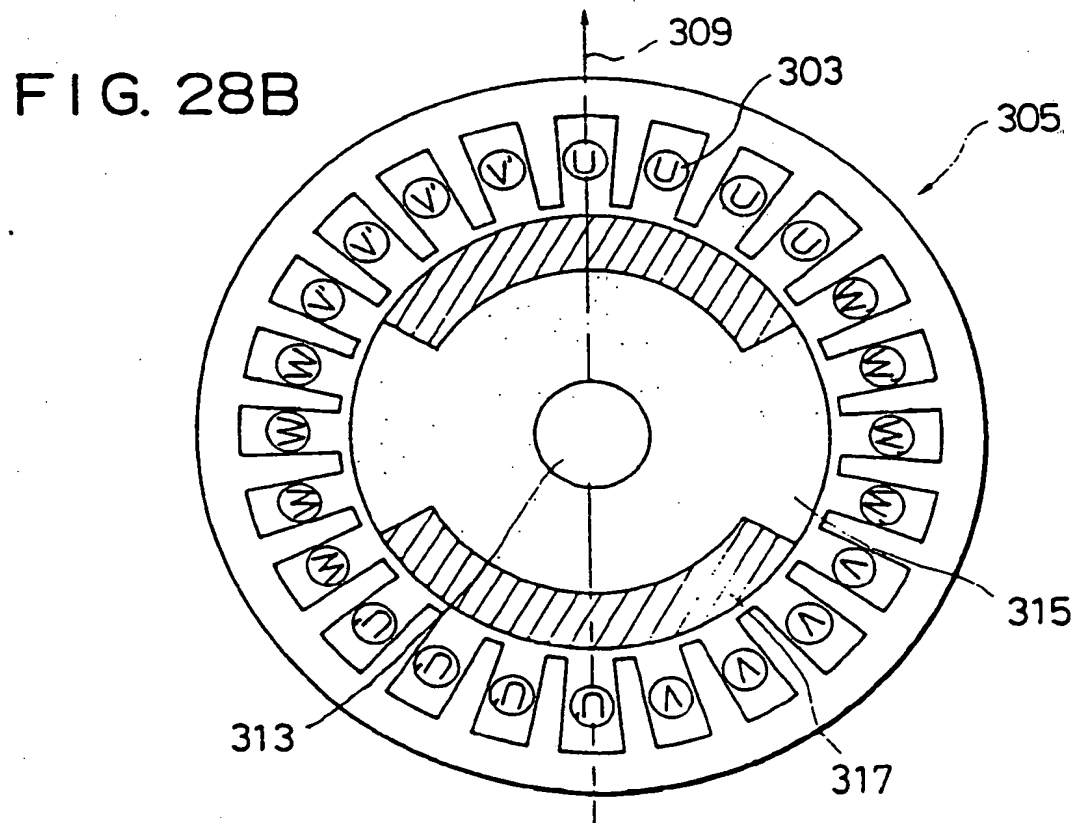
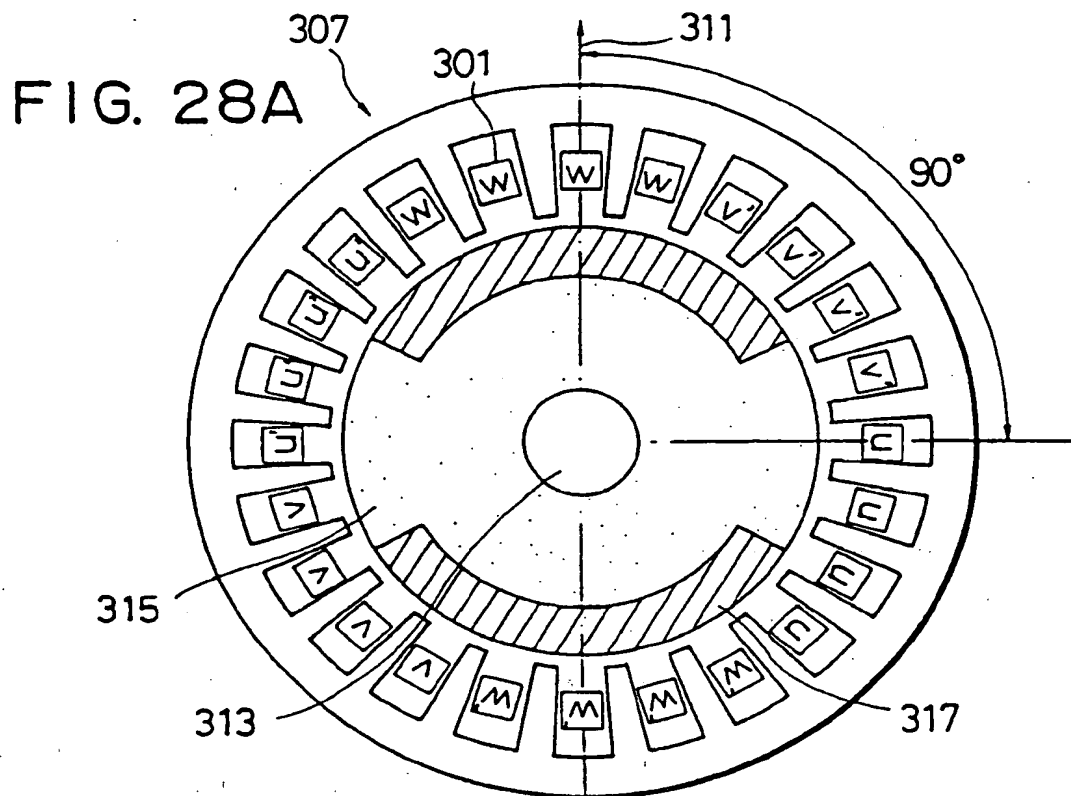


FIG. 29

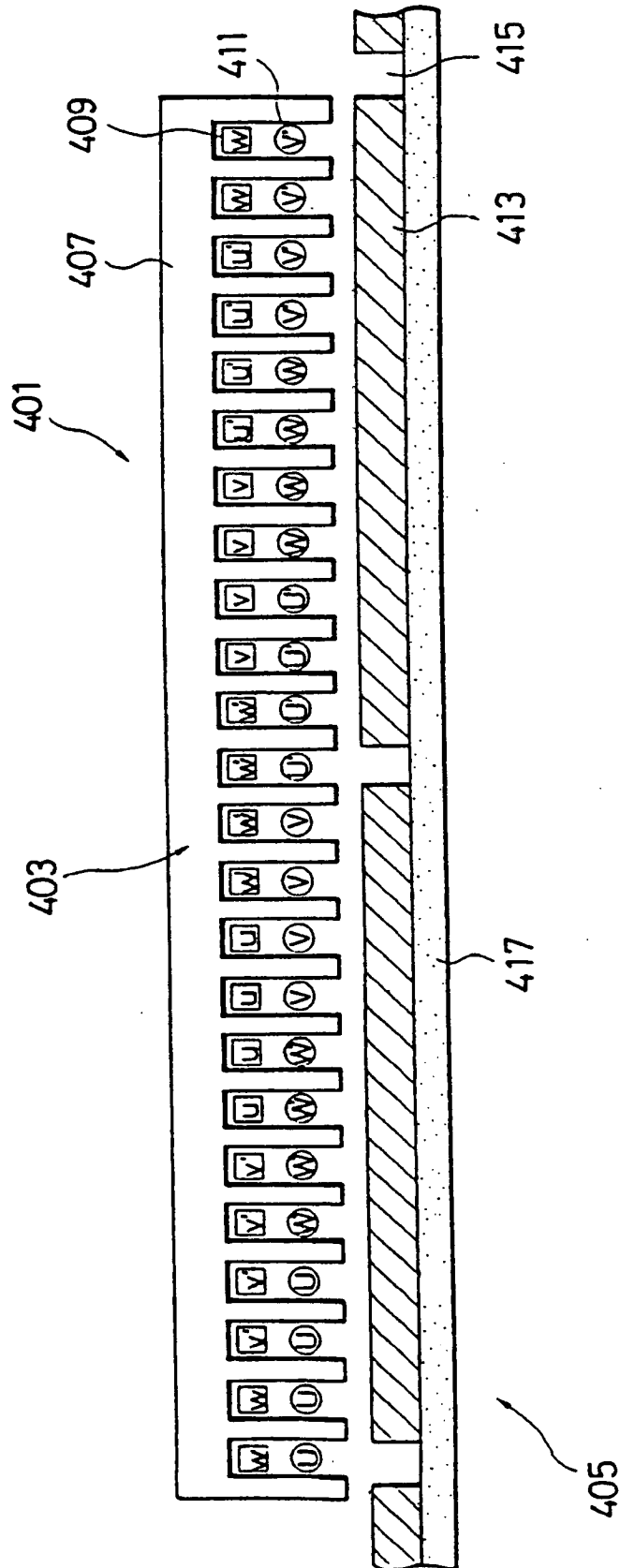


FIG. 30

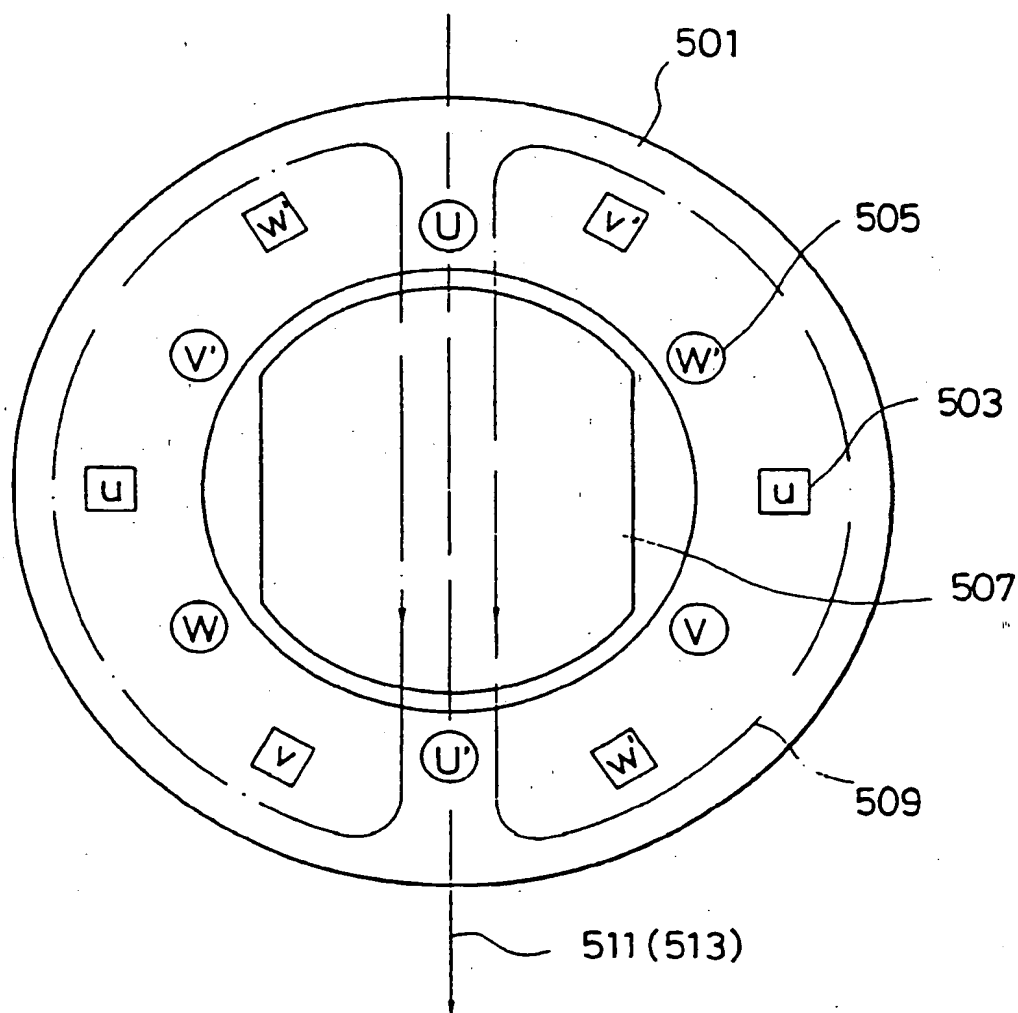
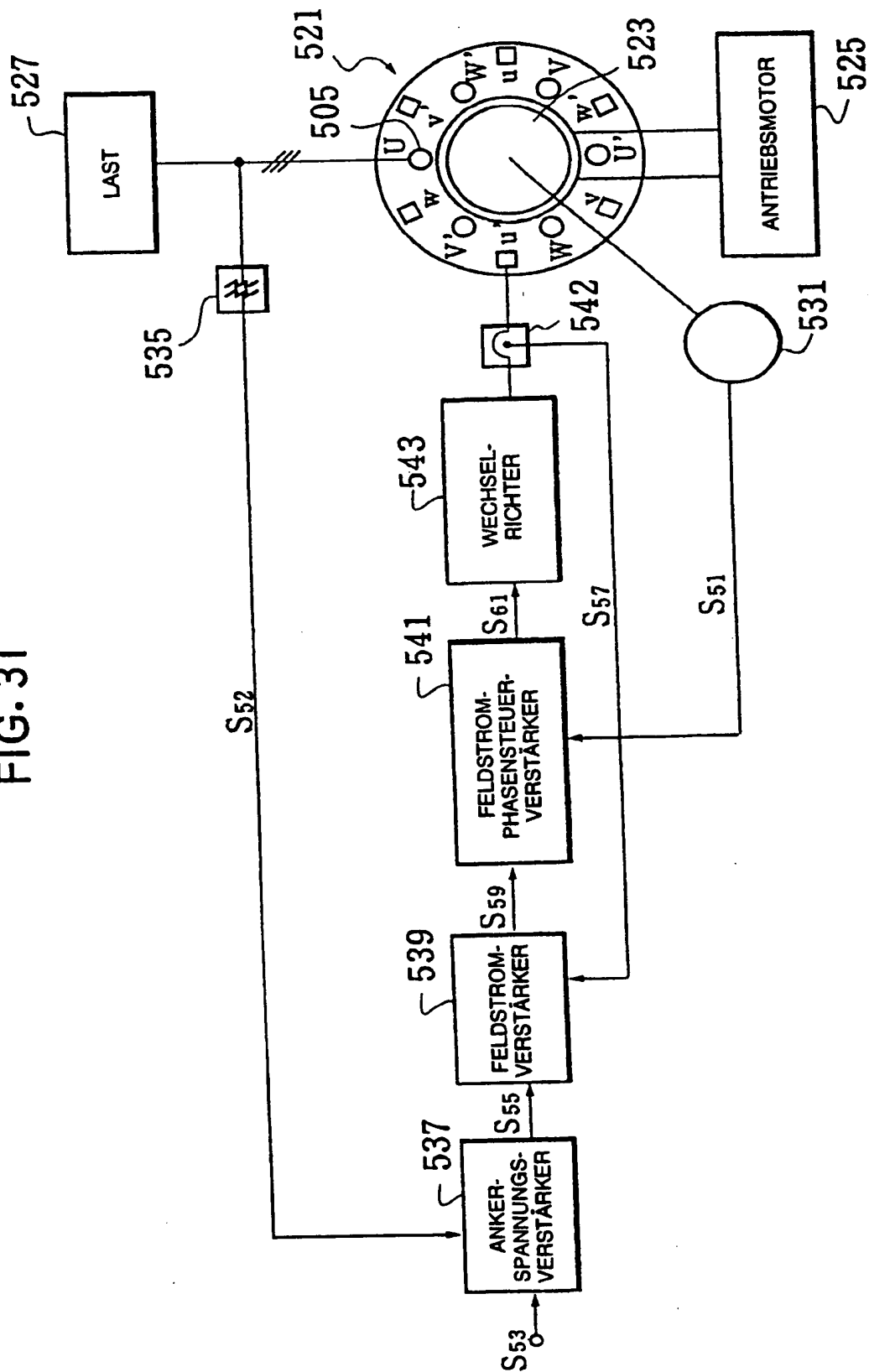


FIG. 31



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINE(S) OR MARK(S) ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)